

S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Kiihdytyskaistat perusverkon eritasoliittymissä

Tiehallinnon selvityksiä 47/2002



S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Kiihdytyskaistat perusverkon eritasoliittymissä

Tiehallinnon selvityksiä 47/2002

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-932-3
TIEH 3200778

Edita Prima Oy
Helsinki 2003

Julkaisua myy/saatavana:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652
S-posti julkaisumyynti@tiehallinto.fi
www.tiehallinto.fi/julkaisut



TIEHALLINTO
Liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 2211

Paula Tuovinen, Tero Kosonen, Åsa Enberg: Kiihdytyskaistat perusverkon eritasoliittymissä. Helsinki 2002. Tiehallinto, liikennetekniikka. Tiehallinnon selvityksiä 47/2002. 94 s. + liitt. 24 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-932-3, TIEH 3200778.
Asiasanat: Ajokaistat, eritasoliittymät, kannattavuus, päätiet, simulointi, välityskyky
Aiheluokka: 21, 25

TIIVISTELMÄ

Yleisellä tieverkolla oli vuonna 2001 tierekisterin mukaan 247 perusverkon eritasoliittymää. Yleisesti hyväksyttyä suunnitteluohjetta ei Suomessa ole ja suunnitteluperiaatteet ovat muuttuneet viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana rampin ja päätien välisten liittymien suunnittelussa tasoliittymätyyppisistä ratkaisuksista kohti moottoritietyyppisiä erkanemiskaista- ja kiihdytyskaistaratkaisuja. Tiehallinnossa on tekeillä suunnitteluohje perusverkon eritasoliittymistä osana strategista projektia S12.

Tässä työssä on selvitetty videokuvausten ja simulointien avulla rampin ja päätien liittymisalueiden toimintaa tavanomaisessa tulppaliittymässä sekä suuntaisliittymässä, jossa ei ole kiihdytyskaistaa ja suuntaisliittymässä, jossa on kiihdytyskaista. Tuloksia on verrattu kirjallisuudesta löytyneiden laskentaohjeiden arvoihin ja pohjoismaiset suunnitteluohjeet on käyty läpi. Simuloinneilla on selvitetty lisäksi päätien suuntaisen, rampin tasossa ylittävän kevyen liikenteen väylän sekä erkanemis- tai kiihdytyskaistalle sijoitetun linja-autopysäkin vaikutuksia. Kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuutta ja turvallisuusvaikutuksia on tarkasteltu karkealla tasolla.

Tutkituissa eritasoliittymissä päätien liikennemäärä oli videokuvausten aikana tutkimussuuntaan ennen ramppia 100–850 ajon/h ja rampin liikennemäärä 10–460 ajon/h. Simuloinneissa päätien liikennemäärä oli 500–1 500 ajon/h ja rampin liikennemäärä 20–50 % päätien liikennemäärästä.

Kiihdytyskaista lisää välityskykyä perusverkon eritasoliittymässä sekä simulointitulosten että kirjallisuuden perusteella. Maastotutkimuksen havainnot osoittavat saman vaikutuksen: rampilta tulevat ajoneuvot hyväksyivät kiihdytyskaistallisessa liittymässä pienempiä päätien aikavälejä kuin kiihdytyskaistattomassa liittymässä.

Kiihdytyskaista vähentää rampilta tulevien ajoneuvojen viivytyksiä liittymässä. Kiihdytyskaistallisissa maastomittauskohteissa keskimääräinen viivytys olisi laskelmien perusteella ollut 3–13 s/ajon ilman kiihdytyskaistaa liikennemäärästä riippuvaisesti. Kiihdytyskaistattomissa kohteissa keskimääräinen viivytys oli videokuvausten perusteella 3–16 s/ajon. Simuloinneissa keskimääräinen viivytys oli kiihdytyskaistallisissa liittymissä liikennemäärästä riippuvaisesti 7–106 s/ajon pienempi kuin kiihdytyskaistattomissa liittymissä.

Kiihdytyskaistan rakentamista kannattaa harkita, jos sivusuunnan jonoutumista ja päätien liikenteelle aiheutuvia häiriöitä halutaan rajoittaa. Mikäli liittymä on vähäliikenteinen, ei kiihdytyskaista ole liittymän sujuvan toiminnan kannalta tarpeen. Kiihdytyskaistan rakentaminen vähäliikenteiseen liittymään voi kuitenkin olla perusteltua esimerkiksi liikenneturvallisuuden, maaston muotojen, päätien geometrian tai suuren raskaan liikenteen osuuden vuoksi.

Työssä on selvitetty tietyin lähtöoletuksin tarkastelemalla huipputuntien aikaisia aika-, ajoneuvo- ja päästökustannuksia sekä vuotuisia onnettomuuskustannuksia liikennemäärät, joilla kiihdytyskaistan rakentaminen on kannattavaa. Esimerkiksi, kun päätien liikennemäärä on 500 ajon/h, on kiihdytyskaistattoman rampin ohjeellinen välityskyky 750 ajon/h ja suositeltu kiihdytyskaistan rakentamislukumäärä 350–500 ajon/h. Tämän selvityksen perusteella kiihdytyskaista kannattaa rakentaa jo rampin liikennemäärällä 300 ajon/h (1 huipputunti/vrk, 10 % tuottoaste rakentamisinvestoinnille).

Kiihdytyskaista tulee rakentaa täyspituksena. Kaistapituudesta tinkiminen alentaa simulointien perusteella välityskykyä ja lisää ajoneuvojen välisiä konflikteja. Simulointien perusteella päätien suuntainen kevytliikenteen ylitys lisää rampilta tulevien ajoneuvojen viivytyksiä 30–50 % (3–10 s), kun kevytliikenteen määrä on 50–200 jk/h. Linja-autopysäkin sijoittamisvaihtoehdoista turvallisimmaksi eritasoliittymän liittymis- ja erkanemiskohdilla osoittautui pysäkin sijoittaminen pysäkkilevennyksenä erkanemiskaistan kohdalle.

Paula Tuovinen, Tero Kosonen, Åsa Enberg: Effekter av accelerationskörfält i samband med helt eller delvis planskilda anslutningar på tvåfältsvägar. Helsingfors 2002. Vägförvaltningen, trafikteknik. 94 s. + bilagor 24 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-932-3, TIEH 3200778.

Nyckelord: körfält, planskilda korsningar, lönsamhet, huvudvägar, simulering, kapacitet

SAMMANFATTNING

Enligt det finska vägregistret fanns det år 2001 247 helt eller delvis planskilda anslutningar på det allmänna vägnätet, där primärvägen är en tvåfältig landsväg. Allmänt godkända projekteringsanvisningar finns inte att tillgå i Finland men projekteringsprinciperna för korsningar mellan ramp och primärväg har under de senaste trettio åren förändrats från lösningar av typ plankorsning mot lösningar av motorvägstyp med avfarter och påfarter. Inom Vägförvaltningen utarbetas som bäst nya planerings- och projekteringsanvisningar för delvis eller helt planskilda anslutningar som en del av det strategiska projektet S 12.

I denna utredning undersöktes trafikens framkomlighet i samband med högerpåsväng från rampen till primärvägen med hjälp av videofilmning och simulering både i traditionella korsningar med kanalisering på rampen från sekundärvägen samt i korsningar med endast högersväng från och till rampen antingen med eller utan accelerationskörfält på primärvägen. Resultaten jämfördes med beräkningsanvisningar från litteraturen och dessutom gick man igenom de nordiska projekteringsanvisningarna. Med hjälp av simuleringar utreddes inverkan av ett övergångsställe för lätt trafik på rampen samt av en busshållplats placerad antingen i samband med avfartsrampen eller accelerationskörfältet. Lönsamheten av att bygga accelerationskörfält samt deras trafiksäkerhetseffekter uppskattades på en grov nivå.

De undersökta korsningarnas trafikflöden i mätningen var 100–850 f/h på primärvägen före korsningen och 10–460 f/h på rampen från sekundärvägen. I simuleringarna var primärvägens trafikflöden 500–1000 f/h och rampens trafikflöden 20–50 % av primärvägens flöden.

Accelerationskörfält ökar kapaciteten i helt eller delvis planskilda anslutningar både enligt simuleringarna och enligt litteraturen. Observationerna från fältmätningarna pekar i samma riktning: fordon som kom från rampen godkände kortare tidsavstånd i primärvägens trafikflöde i korsningar med än i korsningar utan accelerationskörfält.

Accelerationsfältet minskar fördröjningarna för fordon, som kommer från rampen. I de mätplatser som var försedda med accelerationskörfält skulle fördröjningarna enligt beräkningarna ha varit i medeltal 3–13 s/f, om accelerationsfältet inte hade funnits. I de korsningar, som inte var försedda med accelerationskörfält, var den genomsnittliga fördröjningen enligt videofilmningarna 3–16 s/f. Enligt simuleringarna var den genomsnittliga fördröjningen i korsningar med accelerationskörfält 7–106 s/f mindre än i korsningar utan accelerationsfält.

Det är motiverat att överväga accelerationskörfält, om man vill minska köbildningen på sekundärvägen och de störningar som förorsakas trafiken på primärvägen. Om korsningen är litet trafikerad, är ett accelerationskörfält inte nödvändigt från framkomlighetssynpunkt sett. Det kan dock vara motiverat att bygga ett accelerationsfält i alla fall t.ex. av trafiksäkerhetsskäl eller av orsaker, som har att göra med terrängen, primärvägens geometri eller stor andel tung trafik.

I rapporten presenteras de trafikflöden, vid vilka byggandet av accelerationsfält enligt vissa antaganden är lönsamt, då man beaktar maxtimmarnas tids-, fordons- och avgaskostnader samt årliga olyckskostnader. Exempelvis om primärvägens trafikflöde är 500 f/h, då är kapaciteten för en ramp utan accelerationskörfält ungefär 750 f/h och då rekommenderas accelerationsfält vid rampflöden på 350–500 f/h. Enligt denna utredning är byggandet av accelerationskörfält lönsamt redan vid trafikflödet 300 f/h på rampen (1 maxtimme/dygn, 10 % avkastning på investeringen).

Accelerationskörfält bör byggas i sin fulla längd. Att pruta på körfältslängden minskar enligt simuleringarna kapaciteten och ökar konflikterna mellan fordonen. Enligt simuleringarna ökar ett övergångsställe för lätt trafik fördröjningarna för rampfordonen med 30–50 % (3–10 s), då andelen lätt trafik är 50–200 fotgängare/h. Av de olika placeringsalternativen för busshållplats visade sig det säkraste alternativet vara att placera busshållplatsen i en ficka vid avfartsrampen.

Paula Tuovinen, Tero Kosonen, Åsa Enberg: Acceleration lanes at interchanges on the basic rural two-lane road network. Helsinki 2002. Finnish Road Administration. 94 p. + app. 24 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-932-3, TIEH 3200778.

Keywords: Traffic lanes, interchanges, profitability, main roads, simulation, capacity

SUMMARY

According to the Finnish road data bank there were 247 interchanges on the basic rural two-lane, two-way road network in 2001. However, generally approved guidelines for planning and design are so far missing in Finland and during the last thirty years the planning practice for the junctions between the ramp and the main road has moved from typical at-grade junctions to junctions of motorway type with exit ramps and acceleration lanes. The Finnish Road Administration is preparing new guidelines for interchanges as part of the strategic project S 12.

In this research work the traffic performance in the area for right-hand turn from the ramp to the main road was observed by video field measurements and simulations both at ordinary at-grade junctions with channelized ramp junctions and at junctions with no left-turn from the ramp to the main road, as well with as without acceleration lanes on the main road. The results were compared to calculation guidelines from the literature and besides that the Nordic planning guidelines were evaluated. The impact of a pedestrian crossing on the ramp and the impact of different locations of a bus stop on the exit ramp and on the acceleration lane were investigated by means of simulation. A feasibility study for building an acceleration lane and some estimations of traffic safety effects were done on a rough level.

The flow rates at different measurement locations were 100–850 veh/h on the main road just before the ramp and 10–460 veh/h on the ramp from the secondary road. In the simulations the flow rates on the main road were 500–1000 veh/h and on the ramp 20–50 % of the flow rates on the main road.

An acceleration lane increases the capacity of an interchange both according to the simulation results and the literature. The observations from the field measurements indicate the same: vehicles arriving from the ramp accepted shorter gaps in the main traffic flow at junctions with than without acceleration lane.

An acceleration lane decreases the delays for vehicles arriving from the ramp. At the measurement locations with an acceleration lane the average delay would have been 3–13 s/veh without the acceleration lane. According to the video measurements the average delay at junctions without acceleration lane was 3–16 s/veh. According to the simulations the average delay at junctions with acceleration lane was 7–106 s/veh smaller than at junctions without acceleration lane.

An acceleration lane can be considered if less queueing on the secondary road and less conflicts on the main road are desirable. From the traffic performance point of view no acceleration lane is needed at low flow rates. However, it can be justified to build an acceleration lane from traffic safety reasons or because of high share of heavy vehicles or depending on the terrain or the geometry of the main road.

The hourly flow rates at which the construction of an acceleration lane is profitable according to the assumptions made, when time, vehicle, and emissions costs of the peak hours and annual accident costs are considered are presented in the report. For example, when the flow rate on the main road is 500 veh/h, then the capacity of a ramp without acceleration lane is 750 veh/h and an acceleration lane is recommended at ramp flow rates of 350–500 veh/h. Furthermore, according to the calculations the acceleration lane is cost-effective at ramp peak hour rates of 300 veh/h (1 peak hour/day, 10 % return on investment).

The acceleration lane should be built full-sized. According to the simulations reducing the length of the acceleration lane decreases the capacity and increases the conflicts between vehicles at the junction. According to the simulations a pedestrian crossing on the ramp increases the delay of the ramp vehicles with 30–50 % (3–10 s), when the proportion of pedestrian traffic is 50–200 ped/h. The safest location for the bus stop proved to be a bus bay in connection to the exit ramp.

ESIPUHE

Vuonna 2001 yleisellä tieverkolla oli tierekisterin mukaan 247 perusverkon eritasoliittymää. Yleisesti hyväksyttyä suunnitteluohjetta ei kuitenkaan ole ja suunnitteluperiaatteet ovat muuttuneet ajan kuluessa. Viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana rampin ja päätien välisten liittymien suunnittelu on muuttunut tasoliittymätyyppisistä ratkaisuista kohti moottoritietyyppisiä erkanemiskaista- ja kiihdytyskaistaratkaisuja. Tiehallinnossa on tekeillä perusverkon eritasoliittymien suunnitteluohje osana strategista projektia S12.

Tässä työssä on selvitetty maastomittausten ja simulointien avulla kiihdytyskaistallisten ja -kaistattomien perusverkon eritasoliittymien toimintaa ja tuloksia on verrattu kirjallisuudesta löytyneiden laskentamenetelmien suosituksiin. Lisäksi on käyty läpi pohjoismaiset suunnitteluohjeet. Simuloinneilla on selvitetty myös päätien suuntaisen, rampin tasossa ylittävän, kevyen liikenteen väylän sekä erkanemis- tai kiihdytyskaistalle sijoitetun linja-autopysäkin vaikutuksia. Kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuus- ja turvallisuuslaskelmia on tehty karkealla tasolla.

Selvityksen tilasi Tiehallinnon liikennetekniikka -tiimi Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratoriolta. Tilaajan yhdyshenkilönä toimi DI Matti Vehviläinen. Vastuuhenkilönä TKK:ssa oli professori Matti Pursula. Selvityksen ovat TKK:ssa tehneet DI Paula Tuovinen, DI Tero Kosonen (simulointitutkimus) ja DI Åsa Enberg. Maastomittauksiin ja videoaineistojen käsittelyyn on osallistunut lisäksi laboratoriohenkilökuntaa ja tutkimusapulaisia. DI Olavi Koskinen on tehnyt kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuustarkastelun simuloinnit VEMOSIM-ohjelmalla.

Helsingissä joulukuussa 2002

Tiehallinto
Liikennetekniikka

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	5
ESIPUHE	7
1 JOHDANTO	11
1.1 Tausta ja tavoitteet	11
1.2 Määritelmät	11
2 SUUNNITTELUOHJEET	13
2.1 Suomalaiset ohjeet	13
2.2 Ruotsalaiset ohjeet	14
2.3 Tanskalaiset ohjeet	15
2.4 Norjalaiset ohjeet	16
3 MAASTOMITTAUKSET	17
3.1 Tutkimuskohteet ja tutkimusmenetelmä	17
3.2 Liikennemäärät ja liikenteen koostumus	18
3.3 Liittymät ilman kiihdytyskaistaa	21
3.3.1 Liittymän välityskyky kiihdytyskaistattomissa liittymissä	21
3.3.2 Jononpituus rampilla ja jonottamisesta aiheutuva viivytys kiihdytyskaistattomissa liittymissä	23
3.3.3 Liittymisaikavälin odottamisesta aiheutuva viivytys kiihdytyskaistattomissa liittymissä	28
3.3.4 Ramppiajoneuvojen kokonaisviivytys kiihdytyskaistattomissa liittymissä	30
3.3.5 Hyväksytyt aikavälit kiihdytyskaistattomissa liittymissä	33
3.3.6 Pientareen ja linja-autopysäkin käyttö	34
3.4 Kiihdytyskaistalliset liittymät	35
3.4.1 Liittymän välityskyky kiihdytyskaistallisessa liittymässä	35
3.4.2 Kiihdytyskaistalla ajettu matka	37
3.4.3 Matkanopeus kiihdytyskaistalla	38
3.4.4 Hyväksytyt aikavälit kiihdytyskaistallisessa liittymässä	39
3.5 Maastomittaustulosten vertailu	43
3.5.1 Liittymän liikennemäärä ja välityskyky	43
3.5.2 Hyväksytyt aikavälit	45
3.5.3 Viivytys liittymässä	47
3.5.4 Kiihdytyskaistan tarve Sainion tutkimukseen perustuen	49
3.5.5 Kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuus	52

4	SIMULOINTITUTKIMUS	56
4.1	Simulointitutkimuksen tausta	56
4.2	Liittymätyypit simuloinneissa	56
4.2.1	Yleistä	56
4.2.2	Pitkä kiihdytyskaista suuntaisliittymässä	57
4.2.3	Lyhyt kiihdytyskaista suuntaisliittymässä	59
4.2.4	Kiihdytyskaistaton suuntaisliittymä	60
4.2.5	Rampin ylittävä suojatie suuntaisliittymässä	61
4.2.6	Tulppaliittymä LT-b	63
4.2.7	Linja-autopysäkki suuntaisliittymässä	65
4.3	Simuloidut liikennetilanteet	65
4.4	Simulointitutkimuksen toteutus	68
4.4.1	Sujuvuustutkimukset	68
4.4.2	Turvallisuustutkimukset	69
4.5	Simulointitulokset	71
4.5.1	Viivytykset	71
4.5.2	Pysähdykset	76
4.5.3	Konfliktimäärät ja -jakaumat	79
4.5.4	Konfliktien vakavuuden tarkastelu	81
4.5.5	Linja-autopysäkin sijainnin vaikutus liittymän turvallisuuteen	84
4.5.6	Yhteenveto simuloinneista	85
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	88
5.1	Kiihdytyskaistan tarve perusverkon eritasoliittymässä	88
5.2	Kiihdytyskaistan pituus	90
5.3	Kevytiliikenteen ylitys ja linja-autopysäkki liittymäalueella	91
6	KIRJALLISUUSLUETTELO	92
7	LIITTEET	94

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Vuonna 2001 yleisellä tieverkolla oli tierekisterin mukaan 247 perusverkon eritasoliittymää (ei sisällä moottoriliikenneteitä). Pääosa liittymistä on vilkkaasti liikennöidyillä valta- ja kantateillä (Tielaitos 2000). Yleisesti hyväksyttyä suunnitteluohjetta perusverkon eritasoliittymien suunnitteluun ei ole ja suunnitteluperiaatteet ovat muuttuneet ajan kuluessa. Viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana rampin ja päätien välisten liittymien suunnittelu on muuttunut tasoliittymätyyppisistä ratkaisuksista kohti moottoritietyyppisiä erkanemiskaista- ja kiihdytyskaistaratkaisuja. Tiehallinnossa on tekeillä suunnitteluohje perusverkon eritasoliittymistä osana strategista projektia S12 Pääteiden parantamisratkaisut.

Tässä työssä on selvitetty maastomittausten ja simulointien avulla erityyppisten perusverkon eritasoliittymien toimintaa rampin ja päätien liittymisaluiden osalta. Kohteina ovat olleet tavanomainen tulppaliittymä, suuntaisliittymä ilman kiihdytyskaistaa sekä suuntaisliittymä kiihdytyskaistalla. Simuloinneilla on selvitetty lisäksi päätien suuntaisen, ramppliittymän tasossa ylittävän, kevyen liikenteen väylän sekä erkanemis- tai kiihdytyskaistalle sijoitetun linja-autopysäkin vaikutuksia. Työssä on myös tehty karkealla tasolla laskelmia kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuudesta ja turvallisuusvaikutuksista. Liittymien ympäristönäkökohtia ei ole käsitelty.

Työssä on arvioitu kirjallisuuteen perustuen kiihdytyskaistallisen ja -kaistatoman liittymän välityskykyä sekä esitetty liikennemääräalueet, joilla kiihdytyskaistan rakentamista on suositeltu. Lisäksi on käyty läpi pohjoismaiset suunnitteluohjeet.

Tämän työn tavoitteena on antaa vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Tarvitaanko perusverkon eritasoliittymien yhteydessä kiihdytyskaistoja?
- Miten kiihdytyskaista tulisi muotoilla?
- Miten päätien suuntainen kevytliikenne hoidetaan liittymisaluiden kohdalla?
- Miten linja-autopysäkki sijoitetaan liittymis- ja erkanemisramppien yhteyteen?

1.2 Määritelmät

Kriittinen aikaväli on keskimääräinen pienin päätien aikaväli, jota sivutieltä tuleva voi käyttää risteämiseen tai liittymiseen (Nokela et al 1980).

Lähtöaikaväli on peräkkäisten ajoneuvojen aikaväli ajoneuvojonon lähtiessä liikkeelle (Nokela et al. 1980).

Seuranta-aikaväli on kahden peräkkäisen ajoneuvon minimiaikaväli liikennevirrassa (Nokela et al. 1980).

Odotusaika on se aika, jonka ajoneuvo joutuu odottamaan jonossa päästäkseen jonon ensimmäiseksi (Sainio 1984).

Palveluaika on se aika, jonka ajoneuvo on ensimmäisenä jonossa ennen liittymistä (Sainio 1984).

Jonotusaika on odotusajan ja palveluajan summa (Sainio 1984).

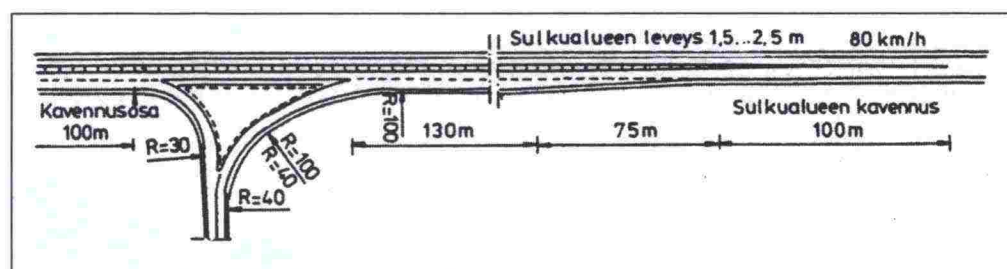
2 SUUNNITTELUOHJEET

2.1 Suomalaiset ohjeet

Eritasoliittymä voi perusverkolla tulla kyseeseen Suomen Rakennusinsinöörien Liiton Liikenne ja väylät II -käsikirjan mukaan risteävien teiden toiminnallisista tai liikenteellisistä, tai yhdyskuntarakenteeseen tai maasto-olosuhteisiin liittyvistä syistä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1988).

Käsikirjan mukaan kahden kaksikaistaisen tien eritasoliittymässä riittää yleensä yksi kaksisuuntainen ramppi. Perusteluina käytetään liikenneturvallisuutta ja taloudellisuutta, välityskyvyn riittävyys on kuitenkin tarkistettava. Kaksiramppista liittymää neuvotaan käytettäväksi, kun päätiellä ei sallita vasemmalle kääntymistä ja liittymistä ja tavoitteena on korkeampi ajonopeus kuin tasoliittymissä. Rammit sijoitetaan päätieltä katsottuna ennen risteyssiltaa.

Kaksiramppisessa eritasoliittymässä ramppien päät tehdään päätiellä suuntaisliittymiksi. Jos päätie on kaksiajoratainen, suuntaisliittymä varustetaan ohjeen mukaan kiihdytyskaistalla. Yksiajorataiselle päätielle tulevat suuntaisliittymät voi käsikirjan mukaan varustaa kiihdytyskaistalla, jos liittymän välityskyky ei muuten ole riittävä. Kuvassa 1 on esimerkki kiihdytyskaistallista ramppiliittymästä yksiajorataisella päätiellä. Kiihdytyskaistan pituus määräytyy päätien mitoitusnopeuden ja rammin kaarresäteiden perusteella (taulukko 1). Kiihdytyskaistojen käyttö perusverkon eritasoliittymissä ei kuitenkaan käsikirjan julkaisuajankohtana ollut suositeltua.



Kuva 1. Esimerkki suuntaisliittymästä ja sen kiihdytyskaistasta yksiajorataisella päätiellä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1988).

Taulukko 1. Päätiehen liittyvän rammin kiihdytyskaistan ja loppukiilan pituus perusverkon eritasoliittymässä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1988).

Päätien mitoitusnopeus (km/h)	Kiihdytyskaistan pituus			Loppukiilan pituus (m)
	Pienin kaarresäde rampilla (m)			
	R ≤ 30	R = 30–80	R ≥ 80	
60	100	80	60	60
80	170	130	100	75
100	250	200	150	75

Tiehallinnon julkaisemassa uudessa tasoliittymien suunnitteluohjeessa (Tiehallinto 2001a) on määritetty liittymiskaistan ja loppukiilan pituus suuntaisliittymässä päätien mitoitusnopeuden perusteella. Kun liittymässä ei ole kevyen liikenteen tasoylitystä, liittyvän suunnan pienin kaarresäde vaihtelee 40–50 m:iin risteävien teiden liittymiskulman mukaan. Ohjeen mukaiset liittymiskaistan ja kiilan pituudet ovat samat kuin *taulukon 1* keskimmaisessä sarakkeessa pienimmän kaarresäteen arvoilla 30–80 m. Kun liittymässä on kevyen liikenteen ylitys, liittymä muotoillaan ja mitoitetaan suppeammaksi. Liittyvän suunnan pienin kaarresäde on tällöin 15 m. Liittymiskaistan pituus on ohjeen mukaan suurempi kuin liittymässä, jossa ei ole kevyen liikenteen tasoylitystä: 100 m, kun päätien nopeusrajoitus on 60 km/h ja 170 m, kun päätien nopeusrajoitus on 80 km/h. Loppukiilan pituudet ovat samat kuin liittymässä, jossa ei ole kevyen liikenteen ylitystä. Tiehallinnon ohjeen mukaiset mitoituskuvat ovat *liitteessä 1*.

2.2 Ruotsalaiset ohjeet

Ruotsalaisessa Vägverketin ohjeessa Vägutformning 94 (Vägverket 1994) perusverkon liittymät jaetaan pieniin ja suuriin liittymiin. Pieniä liittymiä ovat tulppaliittymä, avoin, kanavoitu ja porrastettu liittymä sekä hyvin pienisäteinen kiertoliittymä ym. erityisratkaisut, joilla hillitään ajonopeuksia. Suuria liittymiä ovat kiertoliittymä, valo-ohjauksinen liittymä sekä eritasoliittymä.

Liittymätyyppi valitaan liikenne-, maasto- ja ympäristövaatimusten sekä kustannusten perusteella. Suurta liittymätyyppiä tulee lisäksi harkita, jos sivutie on samaa kokoluokkaa kuin päätie ja/tai jos liikenneturvallisuus ei ole riittävä pienemmässä liittymätyypissä.

VU 94:n ohjeiden mukaan perusverkon eritasoliittymän ramppien lukumäärä ratkaistaan tapauskohtaisesti. Jos ramppeja on yksi, pitää ramppi ja rampin päiden liittymät suunnitella suhteellisen alhaisen nopeustason mukaisesti. Rampin päiden liittymätyyppi valitaan liikenneolojen perusteella. Yksiramppisissa liittymissä ei saa käyttää kiihdytyskaistaa.

Jos eritasoliittymässä on kaksi ramppia, on rampin ja päätien liittymän standardin valinta riippuvainen päätien luokasta. Leveillä kaksikaistaisilla päätteillä valitaan korkea standardi, tavallisilla kaksikaistaisilla teillä ja muutoin valitaan matala standardi. Korkean standardin kohteissa rampin ja päätien liittymä muotoillaan kuten moottoriteiden ja muiden korkealuokkaisten teiden liittymät, eli päätiellä on kiihdytyskaista. Matalastandardisessa kohteessa voidaan myös käyttää kiihdytyskaistaa, jos kevyen liikenteen olosuhteet sen sallivat. *Taulukossa 2* on esitetty VU 94:n mukaiset minimiarvot kiihdytyskaistan ja kiilan pituudelle päätien nopeusrajoituksen mukaan.

Taulukko 2. Päätiehen liittyvän rampin kiihdytyskaistan ja kiilan pituuden minimiarvot korkeastandardisessa mitoituksessa ruotsalaisen VU 94:n mukaan (Vägverket 1994).

Päätien nopeusrajoitus (km/h)	Kiihdytyskaistan pituus (m)	Kiilan pituus (m)
50	75	40
70	100	60
90	125	80
110	150	100

Kiihdytyskaistan ja kiilan pituuksien lisäksi on annettu ohjeet rampin "tarkkailuosuuden" (observationssträcka/övergångssträcka) pituudelle. Tarkkailuosuus loppuu rampin nokkapisteeseen, josta kiihdytyskaista alkaa.

Korkean standardin kohteissa ramppi ja tarkkailuosuus tulee mitoittaa niin, että henkilöauto voi kiihdytyskaistan alkuun mennessä saavuttaa nopeuden, joka on korkeintaan 20 km/h alhaisempi kuin päätien nopeusrajoitus. Ohjeessa tarkkailuosuuden pituuden minimiarvo on 100 m, kun päätien nopeusrajoitus on 70, 90 tai 110 km/h. Tarkkailuosuuden geometriselle mitoitukselle annetaan myös ohjeita.

Matalastandardisten kohteiden mitoituksessa ei ole vastaavaa virallista vaatimusta nopeustasosta, joka rampilta tulevien ajoneuvojen tulee saavuttaa ennen kiihdytyskaistan alkua. Ohjeessa kuitenkin esitetään minimiarvoja tarkkailuosuuden pituudelle, kun tie on tasainen. Tarkkailuosuuden pituuteen vaikuttavat päätien nopeusrajoitus sekä ajonopeus rampin kaarteessa (taulukko 3).

Taulukko 3. Kaksikaistaiseen päätiehen liittyvän rampin "tarkkailuosuuden" pituuden minimiarvot matalastandardisessa mitoituksessa ruotsalaisen ohjeen VU 94 mukaan, kun tie on pituuskaltevuudeltaan tasainen (Vägverket 1994).

Ajonopeus rampin kaarteessa (km/h)	Päätien nopeusrajoitus	
	70 km/h	90 km/h
30	30 m	80 m
35	25 m	75 m
40	20 m	70 m
50		50 m

2.3 Tanskalaiset ohjeet

Tanskalaisia Vejdirektoratetin ohjeita ollaan juuri uudistamassa. Nykyiset ohjeet ovat vuodelta 1983 (Vejdirektoratet 1983). Niiden mukaan sivutieltä oikealle päätielle kääntyville voidaan rakentaa tasoliittymään kiihdytyskaista, jos oikealle kääntyvä liikennemäärä on suuri ja sille halutaan hyvä sujuvuus. Ohjeessa sanotaan, että kiihdytyskaista huonontaa jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden turvallisuutta ja siksi sitä tulisi käyttää vain moottori-

tieliittymissä. Ohjeessa todetaankin, että ratkaisua on käytetty vain harvassa perusverkon kohteessa koko maassa.

2.4 Norjalaiset ohjeet

Norjalaisen Statens vegvesenin vuonna 1993 julkaisemassa suunnitteluohjeessa liittymätyyppi valitaan risteävien teiden luokituksen, liikenneturvallisuuden ja välityskyvyn perusteella (Statens vegvesen 1993). Päätien liittymä rakennetaan perusverkolla eritasoon, jos $KVL > 10\,000$ ja kantatiellä, jos $KVL > 5\,000$ tai $KKVL > 8\,000$.

Kaksiramppista eritasoliittymää ei suositella rakennettavaksi kuin ainoastaan olemassaolevien liittymien perusparannuksen yhteydessä tai jos neliramppisen liittymän rakentaminen ei muista syistä ole mahdollista. Yksiramppista eritasoliittymä tarkastellaan ohjeessa kahtena tasoliittymänä ja mitoitus tapahtuu tasoliittymäohjeiden mukaan.

Suunnitteluohjeen mukaan perusverkon eritasoliittymät varustetaan tavallisesti kiihdytyskaistalla. Moottoriteiden liittymissä tulee aina olla kiihdytyskaista. Taulukossa 4 on esitetty kiihdytyskaistan ja loppukiilan pituus päätien mitoitusnopeuden perusteella.

Taulukko 4. Kiihdytyskaistan ja loppukiilan pituus eritasoliittymässä norjalaisen suunnitteluohjeen mukaan (Statens vegvesen 1993).

	Mitoitusnopeus (km/h)				
	60	70	80	90-100	110-120
Kiihdytyskaista (m)	80	110	140	175	200
Loppukiila (m)	30	50	50	50	50

3 MAASTOMITTAUKSET

3.1 Tutkimuskohteet ja tutkimusmenetelmä

Tutkimuskohteina oli yksi yksiramppinen eritasoliittymä, kolme kaksirampista eritasoliittymää ja kolme eritasoliittymää, joissa on enemmän kuin kaksi ramppia. Kohteista kuusi on nelihaaraliittymiä, yksi on kolmihaarainen. Kaksi kohdetta sijaitsee Turun tiepiirin alueella, muut ovat Uudenmaan tiepiirin alueella. Kohteiden sijainti on esitetty *liitteessä 2*.

Eritasoliittymissä, joissa on vähintään kaksi ramppia, rampin ja päätien liittymät on toteutettu suuntaisliittymän. Rampilta ei saa tällöin kääntyä vasemmalle päätielle eikä päätieltä vasemmalle rampille. Rampin ja sivutien liittymät ovat kolmihaaraisia eritasoliittymää lukuunottamatta tavanomaisia tulpaliittymiä, joissa vasemmalle kääntyminen on sallittu. Yksiramppisessa eritasoliittymässä rampin molemmissa päissä on tulppaliittymä. Tutkimuskohdeiden liittymäkuvat ovat *liitteessä 3*.

Tutkituista kuudesta, vähintään kaksiramppisesta, eritasoliittymästä neljässä on kiihdytyskaistat päätielle, pituudeltaan 107–260 m (kiihdytyskaista+loppukiila). Näistä eritasoliittymistä kolmessa tutkittiin molemmat liittymisrampin ja päätien liittymät, yhdessä vain toinen. Vähintään kaksiramppisista eritasoliittymistä kahdessa kiihdytyskaistoja ei ole. Näistä toisessa tutkittiin vain toinen rampin ja päätien liittymä, toisessa molemmat. Yksiramppisessa eritasoliittymässä on heti rampin jatkeena päätiellä linja-autopysäkki (n. 70 m), jota voi käyttää kiihdyttämiseen. Yhteensä tarkasteltiin neljää rampin ja päätien liittymää, joissa ei ole varsinaista kiihdytyskaistaa päätielle ja seitsemää liittymää, joissa kiihdytyskaista on.

Päätien nopeusrajoitus on ramppiliittymän kohdalla 80 km/h kaikissa muissa kohteissa paitsi kt 50 / mt 1130 -itään liittymässä, jossa päätien nopeusrajoitus nousee 60 km/h:sta 80 km/h:een heti tutkimuskohteena olleen rampin kiihdytyskaistan päättymisen jälkeen.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin videokuvausta. Videonauhoilta analysoitiin rampilta päätielle liittyneiden ajoneuvojen toiminta. Kiihdytyskaistattomissa kohteissa tarkasteltiin jononmuodostusta rampilla sekä ramppiajoneuvojen keskimääräisiä viivytyksiä liittymässä. Lisäksi kahdessa kohteessa selvitettiin päätien pientareelle tai linja-autopysäkille kääntyvien ramppiajoneuvojen osuudet. Kiihdytyskaistallisissa kohteissa selvitettiin kiihdytyskaistan käyttöä sekä matkanopeuksia kiihdytyskaistalla. Ramppiajoneuvojen hyväksymät päätien nettoaikavälit määritettiin kaikissa tutkimuskohteissa.

Kiihdytyskaistattomissa kohteissa videokamera pyrittiin sijoittamaan siten, että liittymisalueen lisäksi kuvassa näkyi mahdollisimman suuri osa liittymisrampista. Käytännössä tämä oli hankalaa rampin kaarevuuden ja kasvillisuuden vuoksi. Kt 51 / kt 50 Hankoon -liittymää kuvattiin kolmella videokameralla, sillä oletettavissa oli, että rampille kertyy pitkiä ajoneuvonoja.

Kiihdytyskaistallisissa liittymissä videokamera sijoitettiin siten, että kiihdytyskaista näkyi kuvassa kokonaan. Kuvaukset jouduttiin tämän vuoksi tekemään melko kaukaa, tavallisimmin risteys sillalta tai sen läheisyydestä. Kuvauksen aikana mittamies käveli kiihdytyskaistan reunaa pysähtyen joka kymmenes metri, jotta kiihdytyskaistan pituusmitta voitiin aineiston käsittelyn yhteydessä merkata teippien avulla monitorin kuvaruudulle.

Taulukossa 5 on esitetty tutkimuskohteet, videokuvausten ajankohdat ja rampilta saapuneiden ajoneuvojen lukumäärät kohteittain. Tutkimuskohteen nimessä on ensin mainittu sen tien numero, jolla tutkittava ramppiliittymä on. Jatkossa tästä tiestä käytetään nimitystä päätie, vaikka risteävä tie olisi toiminnalliselta luokaltaan samanarvoinen. Yhteensä videonauhoilla on noin 6 300 ajoneuvon liittymistapahtuma.

Taulukko 5. Tutkimuskohteet, videokuvausten ajankohdat ja kuvausten aikana rampilta päätielle liittyneiden ajoneuvojen lukumäärät.

Tutkimuskohde ja -suunta		Kuvausaika		Ramppiajoneuvojen lukumäärä
		Pvm	Klo	
Suuntaisliittymät, joissa ei kiihdytyskaistaa	Kt 51/ kt 50 Hankoon	31.8.2001	12.06-17.19	1 910
	Vt 8 / vt 12 Poriin	14.6.2001	15.01-17.58	832
	Vt 8 / vt 12 Turkuun	14.6.2001	15.14-18.09	341
Tulppaliittymä	Vt 25 / vt 2 Hankoon	23.8.2001	12.07-18.02	895
Suuntaisliittymät, joissa kiihdytyskaista ja kiihdytyskaistan pituus	Kt 50 / mt 1130 itään, 232 m	16.8.2001	07.00-09.00	934
	Kt 50 / Mynttiläntie itään, 160 m	7.6.2001	07.20-09.40	202
	Kt 50 / Mynttiläntie länteen, 107 m	7.6.2001	07.31-09.36	22
		15.8.2001	06.51-09.04	19
	Vt 2 / mt 133 Helsinkiin, 207 m	30.8.2001	12.35-18.00	512
	Vt 2 / mt 133 Forssaan, 181 m	30.8.2001	15.00-18.11	233
	Vt 8 / mt 2052 Poriin, 255 m	15.6.2001	07.28-10.24	113
	Vt 8 / mt 2052 Turkuun, 260 m	15.6.2001	07.37-10.33	258

3.2 Liikennemäärät ja liikenteen koostumus

Rampin ja päätien liikennemäärät kuvausten aikana tutkimussuuntaan sekä raskaiden ajoneuvojen osuus kohteittain on esitetty taulukossa 6. Taulukossa on tuntiliikenteen keskiarvot koko kuvausajalta sekä vaihteluväli 5 minuutin jaksoissa. Niissä liittymissä, joissa ei ole kiihdytyskaistaa, rampin liikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen osuuden vaihtelu 5 minuutin jaksoissa on määritetty ajoneuvojen jonoontulohetken perusteella. Kiihdytyskaistalli-

sisä liittymissä tarkasteluhetkenä on käytetty rampin nokkapisteen ohitus-
hetkeä.

*Taulukko 6. Päätien ja rampin keskimääräiset liikennemäärät ja raskaiden
ajoneuvojen osuudet kuvausajana tutkimuskohteittain. Suluissa liikenne-
määrän ja raskaiden ajoneuvojen osuuden vaihtelu 5 minuutin jaksoissa.*

Tutkimuskohde		Päätie ennen ramppia tutkimussuuntaan		Ramppi		Päätie rampin jälkeen tutkimussuuntaan	
		Liikenne- määrä (ajon/h)	Raskaiden ajoneuvo- jen osuus (%)	Liikenne- määrä (ajon/h)	Raskaiden ajoneuvo- jen osuus (%)	Liikenne- määrä (ajon/h)	Raskaiden ajoneuvo- jen osuus (%)
Suuntais- liittymät, joissa ei kiihdytys- kaistaa	Kt 51/ kt 50 Hankoon	850 (460–1310)	4,6 (0,9–14,3)	370 (130–710)	10,5 (0,0–38,5)	1 220 (640–1840)	6,4 (2,0–17,4)
	Vt 8 / vt 12 Poriin	150 (60–240)	19,9 (0,0–43,8)	320 (180–500)	7,8 (0,0–19,4)	470 (250–700)	11,6 (0,0–25,0)
	Vt 8 / vt 12 Turkuun	140 (50–250)	25,2 (0,0–60,0)	120 (20–200)	14,4 (0,0–31,3)	260 (170–400)	19,9 (0,0–45,0)
Tulppa- liittymä	Vt 25 / vt 2 Hankoon	230 (80–460)	14,2 (0,0–45,5)	150 (50–290)	6,9 (0,0–42,9)	380 (200–670)	11,2 (0,0–33,3)
Suuntais- liittymät, joissa kiihdytys- kaista	Kt 50 / mt 1130 itään	510 (200–790)	7,5 (2,2–22,2)	460 (280–640)	7,2 (0,0–16,7)	970 (620–1400)	7,4 (1,7–16,9)
	Kt 50 / Mynt- tiläntie itään	830 (280–1360)	8,3 (0,0–30,0)	90 (20–160)	10,9 (0,0–50,0)	920 (320–1440)	8,6 (0,0–27,3)
	Kt 50 / Mynt- tiläntie länteen	650 (350–970)	11,9 (2,5–26,3)	10 (0–20)	12,2 (0,0– 100,0)	660 (360–980)	11,9 (2,4–28,6)
	Vt 2 / mt 133 Helsinkiin	150 (50–370)	16,2 (0,0–50,0)	90 (20–250)	11,1 (0,0–50,0)	240 (100–530)	14,2 (0,0–37,5)
	Vt 2 / mt 133 Forssaan	270 (160–430)	10,7 (0,0–37,5)	73 (10–140)	9,0 (0,0–33,3)	340 (190–520)	10,3 (0,0–31,6)
	Vt 8 / mt 2052 Poriin	170 (30–310)	19,4 (0,0–100,0)	40 (0–80)	46,0 (0,0–1,0)	210 (60–360)	24,3 (5,6–55,6)
	Vt 8 / mt 2052 Turkuun	100 (20–360)	25,1 (0,0–83,3)	90 (20–260)	17,4 (0,0–66,7)	180 (60–620)	21,4 (6,5–54,5)

Kiihdytyskaistattomista liittymistä selvästi vilkasliikenteisin oli kt 51 / kt 50, jossa päätien liikennemäärä oli kuvausten aikana rampin jälkeen tutkimus-
suuntaan keskimäärin 1 200 ajon/h. Muissa liittymissä päätien liikennemäärä
rampin jälkeen jäi alle 500 ajon/h. Kt 51 / kt 50 -liittymässä päätien liikenne-
määrä ennen ramppia oli keskimäärin 850 ajon/h, rampin keskimääräinen
liikennemäärä oli yli puolet pienempi, 370 ajon/h. Vt 8 / vt 12 -liittymässä
pätien liikennemäärä oli molempiin suuntiin ennen ramppia noin 150 ajon/h.
Rampilta saapui Turun suuntaan lähes yhtä suuri ajoneuvomäärä, keski-
määrin 120 ajon/h. Porin suunnan ramppi oli sen sijaan vilkasliikenteisempi
kuin päätie ennen ramppia, liikennemäärä oli keskimäärin 320 ajon/h. Vt 25 /
vt 2 -liittymässä päätien liikennemäärä ennen ramppia oli keskimäärin 230
ajon/h, rampilta saapui keskimäärin 150 ajon/h.

Kiihdytyskaistallisista liittymistä oli vilkasliikenteisin kt 50 / mt 1130 -liittymä,
jossa kt 50:n liikennemäärä itään päin oli rampin jälkeen noin 1 000 ajon/h.
Keskimäärin noin puolet ajoneuvoista tuli rampilta. Kt 50:n liikennemäärä

itään päin seuraavan liittymän rampin jälkeen (kt 50 / Mynttiläntie) oli lähes yhtä suuri, mutta vain noin joka kymmenes ajoneuvo tuli rampilta. Ramppi Mynttiläntieltä kt 50:lle länteen päin oli erittäin vähäliikenteinen, rampin liikennemäärä oli kuvausten aikana keskimäärin 10 ajon/h. Kt 50:n liikennemäärä ennen ramppia oli keskimäärin 650 ajon/h. Muissa kuin kt 50:n liittymissä liikennemäärät olivat kuvausten aikana melko alhaiset: päätien keskimääräinen liikennemäärä tutkimussuuntaan ennen ramppia alle 300 ajon/h ja rampin liikennemäärä alle 100 ajon/h.

Raskaiden ajoneuvojen osuus päätiellä ennen ramppia oli videokuvausten aikana eri kohteissa 4,6–25,2 %. Osuus oli suurin vt 8:lla Turun suuntaan ja pienin kt 51:llä Hangon suuntaan. Rampeilla raskaiden ajoneuvojen keskimääräinen osuus oli 6,9–46,0 %. Osuus oli suurin vt 8 / mt 2052 -liittymässä Porin suunnan rampilla ja pienin vt 25 / vt 2 -liittymässä Hankoon päin.

3.3 Liittymät ilman kiihdytyskaistaa

3.3.1 Liittymän välityskyky kiihdytyskaistattomissa liittymissä

Tässä luvussa verrataan maastomittauksissa havaittuja kiihdytyskaistattomien liittymien liikennemääriä kirjallisuudesta löytyneisiin vastaavan tyyppisten liittymien välityskykyarvoihin. Amerikkalaisesta HCM 2000-käsikirjasta vertailun kohteeksi otettiin normaali tasoliittymä, sillä käsikirjassa ei ole tarkasteltu kaksikaistaisten teiden eritasoliittymiä (HCM 2000). Toinen vertailukohde on Suomessa vuonna 1985 tehty tutkimus, jossa selvitettiin kiihdytyskaistattoman liittymisrampin toimintaa kaksikaistaisilla teillä (Sainio 1984). Sainiolla oli tutkimuskohteena kolme suuntaisliittymää, joista yksi oli perusverkolla ja kaksi moottoriliikennetiellä. Kolmanneksi vertailukohteeksi otettiin ruotsalainen valo-ohjaamattoman tasoliittymän välityskyvyn laskentaohje, joka perustuu 1970-luvulla tehtyihin mittauksiin (Statens vägverk 1977).

HCM 2000:n mukaan sivusuunnan välityskyky tasoliittymässä on riippuvainen pääsuunnan liikennemäärästä sekä sivusuunnan ajoneuvojen kriittisestä aikavälistä ja lähtöaikavälistä (*yhtälö (1)*). HCM 2000:ssa esitetään arvot näille aikaväleille sen mukaan, onko sivusuunnan ajoneuvo kääntymässä päätielle vai ajamassa suoraan päätien yli. Sivusuunnalla on HCM:n mallissa pakollinen pysähtyminen.

$$c_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{(-v_{c,x}t_c/3600)}}{1 - e^{(-v_{c,x}t_f/3600)}} \quad (1)$$

jossa $c_{p,x}$ = sivusuunnan välityskyky (ajon/h)
 $v_{c,x}$ = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h)
 t_c = sivusuunnan kriittinen aikaväli (s)
 t_f = sivusuunnan lähtöaikaväli (s).

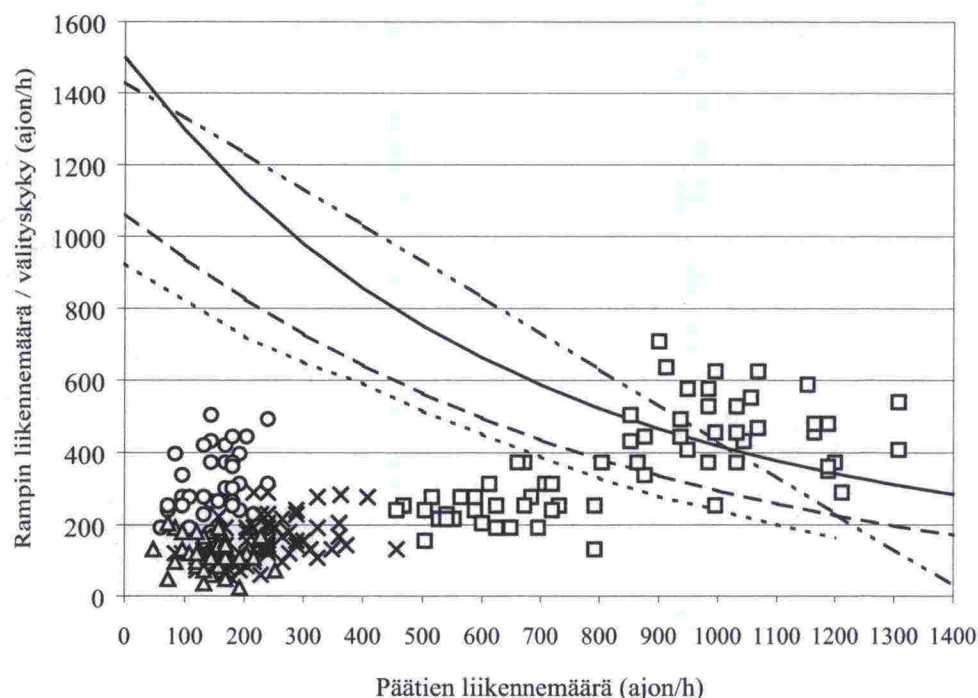
Sainion tutkimuksessa määritettiin maastomittausten avulla mm. rampin lähtöaikaväli ja kriittinen aikaväli sekä raskaiden ajoneuvojen osuuden vaikutus niihin. Tutkimuksessa on esitetty myös rampin välityskyky päätien eri liikennemäärillä.

Kuvaan 2 on merkitty tässä tutkimuksessa havaitut päätien ja rampin liikennemäärät kiihdytyskaistattomissa suuntaisliittymissä sekä tulppaliittymässä (5 min. aikajaksoissa). Rampin liikennemäärä on otettu ajoneuvojen jo-noontulohetken mukaan ja päätien liikennemäärä on tarkastellun ajosuunnan liikennemäärä samalta ajalta ennen ramppia. Lisäksi kuvassa on neljä käyrää, jotka kuvaavat rampin välityskyvyn riippuvaisuutta päätien liikennemäärästä eri lähteiden mukaan.

Rampin välityskykyä kuvaavista käyristä kaksi perustuu HCM 2000:ssä esitettyyn *yhtälöön (1)*. Toisessa on käytetty HCM 2000:n suositusarvoja sivusuunnan kriittiselle aikavälille ja lähtöaikavälille, toisessa Sainion tutkimuksessa määritettyjä arvoja (raskaiden ajoneuvojen osuuden ollessa molemmissa tapauksissa 10 %). Käytetyt aikaväliarvot on esitetty *taulukossa 7*. Sainion tutkimuksesta peräisin oleva välityskykykäyrä perustuu sekä mitat-

tuihin että päätien aikavälijakaumien perusteella laskettuihin rampin palvelu-aikoihin päätien eri liikennemäärillä. Ruotsalaisessa laskentaohjeessa välityskyky määritetään rampin palveluajan käänteisarvona. Palveluaika on riippuvainen päätien liikennemäärästä ja kriittisestä aikavälistä. Kuvassa 2 oleva käyrä perustuu kriittisen aikavälin arvoon 6,0 sekuntia.

Kuvan perusteella rampin välityskyky ylittyi mittausten aikana ainoastaan kt 51 / kt 50 -liittymässä. Muissa kohteissa rampin liikennemäärä oli selvästi välityskykyä pienempi, verrattiinpa havaintoja mihin välityskykyä kuvaavaan käyrään tahansa.



□ Kt 51 / kt 50 Hankoon	○ Vt 8 / vt 12 Poriin
× Vt 25 / vt 2 Hankoon	△ Vt 8 / vt 12 Turkuun
--- HCM 2000 & suositusaikaväliarvot	-.-.- Sainio (1984)
— HCM 2000 & Sainion aikaväliarvot Ruotsalainen laskentaohje

Kuva 2. Mittauksissa havaitut rampin ja päätien liikennemäärät kiihdytyskaistattomissa kohteissa (5 minuutin aikajaksoissa) sekä rampin välityskyky päätien eri liikennemäärillä HCM 2000:n, ruotsalaisen laskentaohjeen ja Sainion mukaan.

Taulukko 7. Kiihdytyskaistattomien liittymien sivusuunnan välityskykyä kuvaavissa käyryissä käytetyt lähtöaikavälin ja kriittisen aikavälin arvot.

Välityskykykäyrä (kuva 2)	Lähtöaikaväli	Kriittinen aikaväli
HCM 2000 & suositusarvot	3,39 s*	6,2 s kaikilla päätien liikennemäärillä
HCM 2000 & Sainion arvot	2,4 s	6,6–5,5 s pätien liikennemäärän kasvaessa 0–1300 ajon/h

*Sivusuunnalta tulevilla ajoneuvoilla on pakollinen pysähtyminen.

HCM 2000:n suositus lähtöaikaväliksi on noin 1 sekunnin suurempi kuin Sainion tutkimuksessa havaittu arvo, mikä johtuu siitä, että sivusuunnalta tulevilla ajoneuvoilla on pakollinen pysähtyminen. Kriittinen aikaväli pienenee Sainion tutkimuksen mukaan päätien liikennemäärän kasvaessa, HCM 2000:ssa käytetään yhtä kriittisen aikavälin arvoa.

HCM 2000 suositusarvojen mukaan ja ruotsalaisen laskentaohjeen mukaan laskettu rampin välityskyky on selvästi pienempi kuin muilla menetelmillä määritetty välityskyky. HCM 2000:n tapauksessa tämä johtuu lähinnä siitä, että suositus lähtöaikaväliksi on selvästi suurempi kuin Sainion tutkimuksessa havaittu. Ruotsalainen ohje on puolestaan melko vanha, se on peräisin 1970-luvulta.

Jatkossa rampin välityskyky on laskettu *yhtälöllä (1)* käyttämällä Sainion tutkimuksessa havaittuja lähtöaikavälin ja kriittisen aikavälin arvoja *taulukon 7* mukaisesti.

Mittauskohteissa kuormitusaste vaihteli kuvausten aikana *taulukossa 8* esitetyllä tavalla. Kuormitusaste oli alle 0,50 kaikissa muissa kohteissa paitsi kt 51 / kt 50 -liittymässä. Siellä liittymän kuormitusaste nousi yli 1,00:n noin klo 15.10 ja rampin liikennemäärä oli välityskykyä suurempi kuvausten loppuun saakka (n. klo 17.20) kahta 5 minuutin jaksoa lukuunottamatta.

Taulukko 8. Rampin kuormitusasteen vaihtelu 5 minuutin jaksoissa videokuvauksen aikana kiihdytyskaistattomissa kohteissa. Rampin välityskyky on määritetty HCM 2000:n mukaan käyttäen Sainion tutkimuksessa määritettyjä lähtöaikavälin ja kriittisen aikavälin arvoja (Sainio 1984).

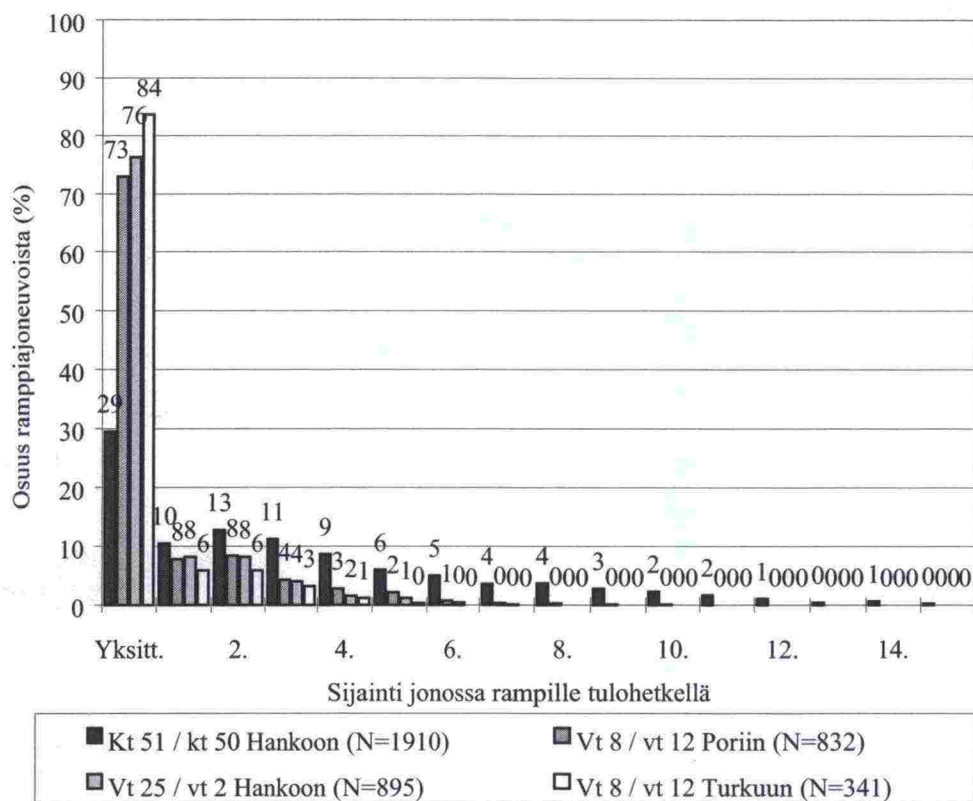
	Kt 51 / kt 50 Hankoon	Vt 8 / vt 12 Poriin	Vt 8 / vt 12 Turkuun	Vt 25 / vt 2 Hankoon
Rampin kuormitusaste	0,21–1,76	0,14–0,46	0,02–0,16	0,04–0,33

3.3.2 Jononpituus rampilla ja jonottamisesta aiheutuva viivytys kiihdytyskaistattomissa liittymissä

Kiihdytyskaistattomien liittymien videokuvauksista määritettiin jononpituus rampilla. Jonon katsottiin alkavan, kun rampilta tuleva ajoneuvo hylkäsi päätien aikavälin ja jäi odottamaan liittymiseen sopivaa aikaväliä. Ajoneuvojen järjestysnumero jonossa määritettiin sillä hetkellä, kun ajoneuvo saapui jonoon rampilla. Mikäli rampilla ei ollut yhtään ajoneuvoa eikä seuraava ajoneuvo saapunut rampille ennen kuin päätien liikennevirrassa oli liittymisen sopiva aikaväli, ajoneuvo määritettiin "yksittäiseksi". Yksittäiseksi määritettiin myös ne rampille jonossa ajaneet ajoneuvot, jotka eivät joutuneet pysähtymään vaan pääsivät suoraan jonossa liittymään päätielle.

Vt 8 / vt 12 -liittymässä ja vt 25 / vt 2 -liittymässä ramppi ei näkynyt videokuvassa kokonaan. Kun rampilla oli pitkä jono, ei joidenkin ajoneuvojen tarkkaa jonoontulohetkeä saatu selville. Näiden ajoneuvojen jonoontulohetkeksi määritettiin se ajankohta, jolloin ajoneuvo ensimmäisen kerran tuli näkyviin videokuvaan. Näitä ajoneuvoja oli vt 8 / vt 12 -liittymässä Porin suunnassa 22 kpl ja Turun suunnassa 1 kpl sekä vt 25 / vt 2 -liittymässä 20 kpl.

Kuvassa 3 on esitetty ajoneuvon sijainti jonossa rampille tulohetkellä. Kt 51 / kt 50 -liittymässä 60 % kaikista ramppiajoneuvoista joutui pysähtymään jonoon. Muissa kohteissa osuus oli selvästi pienempi, 10–20 %. Kuvausajana maksimijononpituus oli kt 51 / kt 50 -liittymässä 17 ajoneuvoa, vt 8 / vt 12 -liittymässä Porin suuntaan 10 ja Turun suuntaan 5 ajoneuvoa sekä vt 25 / vt 2 -liittymässä 7 ajoneuvoa.

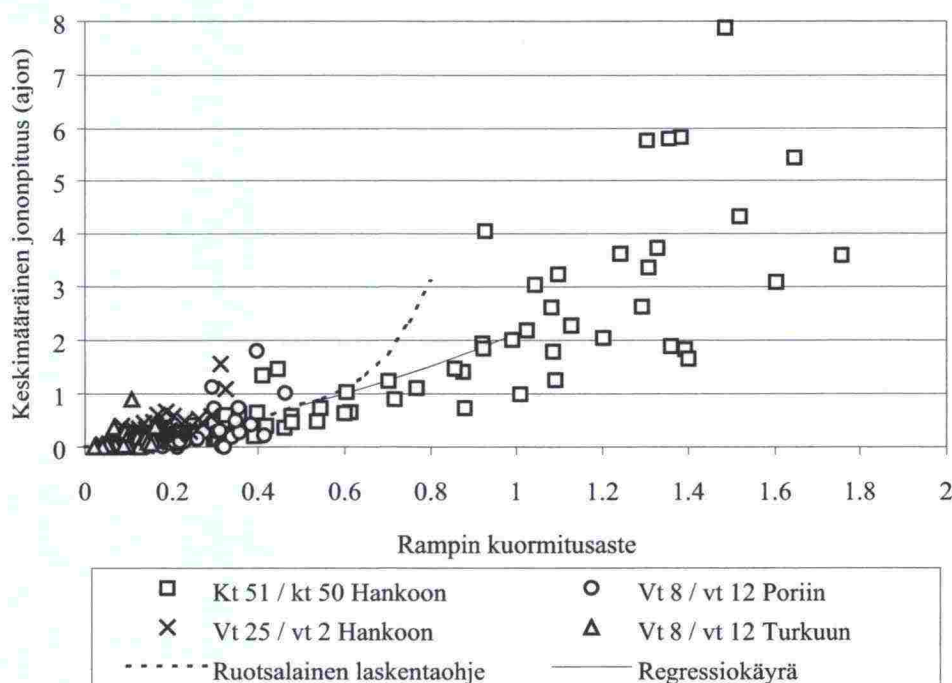


Kuva 3. Rampilla jonottaneiden ajoneuvojen sijainti jonossa rampille tulohetkellä ja osuus ramppiajoneuvoista kiihdytyskaistattomissa liittymissä.

Keskimääräinen jononpituus rampilla kasvaa rampin kuormitusasteen funktiona kuvassa 4 esitetyllä tavalla. Keskimääräinen jononpituus on laskettu ramppiajoneuvojen keskimääräisen jonossaoloajan ja rampin liikennemäärän tulona 5 minuutin aikajaksoissa. Kun kuormitusaste oli alle 1,0, oli keskimääräinen jononpituus pääsääntöisesti alle 3 ajoneuvoa. Alle 1,0 kuormitusasteen mittaushavainnoista muodostettiin regressiomalli. Mallin mukaan jononpituus on riippuvainen kuormitusasteesta ja sen toisesta potenssista. Malli on tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05 ja regressiokäyrän selittäjät poikkeavat nolasta tilastollisesti merkitsevästi. Regressiokäyrän yhtälö on esitetty liitteessä 4.

Kuvaan 4 on piirretty myös keskimääräisen jononpituuden riippuvaisuus kuormitusasteesta ruotsalaisen laskentaohjeen mukaan (Statens vägverk 1977). Ohje soveltuu käytettäväksi jononpituuden arviointiin, kun kuormitusaste on alle 0,8. Ohjeessa sanotaan, että kuormitusasteen ollessa alle 0,6, on virhe keskimääräisessä jononpituudessa tavallisesti 15–20 %, mutta kuormitusasteen ollessa 0,8 voi virhe olla 40–50 %. Ero tämän tutkimuksen

mittaushavaintojen perusteella saadun ja ruotsalaisen menetelmän mukaan määritetyn keskimääräisen jononpituuden välillä vaihtelee -10 – +20 %, kun kuormitusaste on korkeintaan 0,6. Kuormitusasteen ollessa 0,8 antaa ruotsalainen menetelmä kaksinkertaisen jononpituuden mittaushavaintoihin verrattuna.



Kuva 4. Rampin keskimääräisen jononpituuden riippuvaisuus kuormitusasteesta mittaushavaintojen perusteella ja ruotsalaisen laskentaohjeen mukaan kiihdytyskaistattomissa liittymissä.

HCM 2000:ssa ja ruotsalaisessa laskentaohjeessa on esitetty menetelmät väistämisvelvollisen tulosuunnan maksimijononpituuden laskemiseksi (HCM 2000, Statens vägverk 1977). HCM 2000:n mukaan maksimijononpituus on riippuvainen väistämisvelvollisen suunnan välityskyvystä ja liikennemäärästä (yhtälö (2)). Maksimijononpituus on määritetty riskitasolla 0,05, eli yhtälöstä (2) saatu arvo ylitetään 5 %:n todennäköisyydellä. Ruotsalaisessa laskentaohjeessa maksimijononpituus lasketaan keskimääräisen jononpituuden avulla halutulla riskitasolla yhtälön (3) mukaan (alle 1,0:n kuormitusasteella).

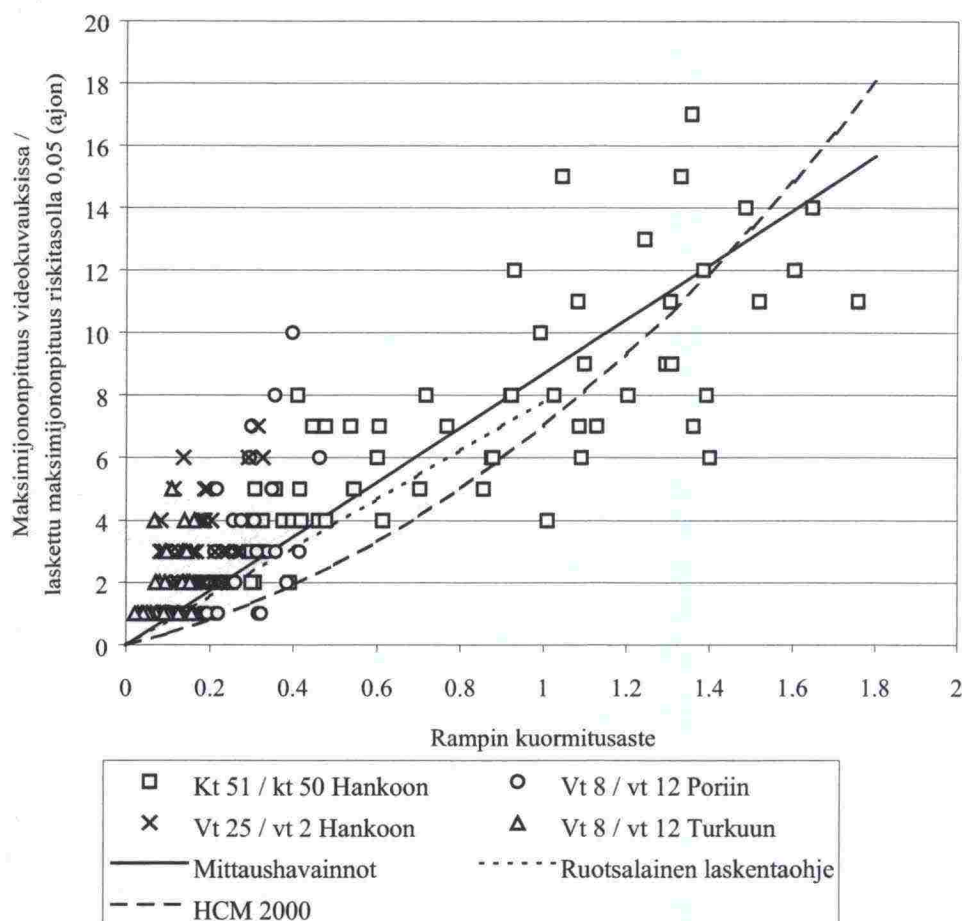
$$Q \approx 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{c_{m,x}}{3600} \right) \quad (2)$$

jossa Q = maksimijononpituus riskitasolla 0,05 (ajon)
 v_x = liikennemäärä (ajon/h)
 $c_{m,x}$ = välityskyky (ajon/h)
 T = mittausaikajakso (h) ($T=5/60$, kun aikajakso on 5 minuuttia).

$$(M_f)_{\max} = \frac{\log(p)}{\log(M_f / (M_f + 1))} \quad (3)$$

jossa $(M_f)_{\max}$ = maksimijononpituus (ajon)
 M_f = keskimääräinen jononpituus (ajon)
 p = riskitaso, jolla jononpituus määritetään.

Kuvassa 5 on esitetty videokuvauksissa havaitut maksimijononpituudet 5 minuutin aikajaksoista rampin kuormitusasteen funktiona ja havaintoihin sovitettu regressiosuora. Vertailun vuoksi samoista aikajaksoista laskettiin maksimijononpituudet riskitasolla 0,05 HCM 2000:n ja ruotsalaisen laskentaohjeen (kuormitusaste <1,0) mukaan. Kuvaan 5 on piirretty myös näihin pisteisiin sovitetut regressiokäyrät. Regressiokäyrien yhtälöt ovat liitteessä 4.



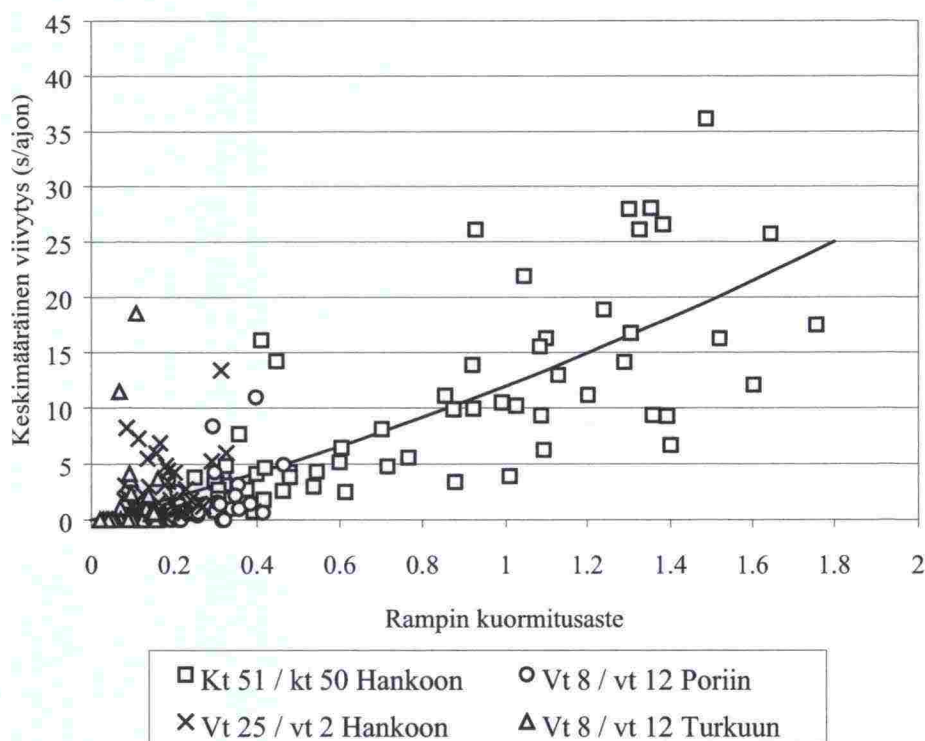
Kuva 5. Videokuvauksissa havaittu kiihdytyskaistattomien liittymien rampin maksimijononpituus 5 minuutin aikajaksoissa kuormitusasteen funktiona ja vastaava regressiosuora sekä samoilta 5 minuutin aikajaksoilta HCM 2000:n ja ruotsalaisen laskentaohjeen (kuormitusaste <1,0) mukaan laskettujen maksimijononpituuksien regressiokäyrät (riskitaso 0,05).

Kuvan perusteella ruotsalaisen menetelmän mukaan laskettu maksimijononpituus on lähempänä videokuvauksissa havaittuja arvoja kuin HCM 2000:n mukaan laskettu maksimijononpituus. Selityksenä saattaa olla se, että ruotsalainen menetelmä perustuu havaittuihin keskimääräisiin jononpituuksiin, joten siinä käytetään enemmän tietoa todellisesta tilanteesta kuin HCM

2000:ssä, jossa maksimijononpituuden laskenta perustuu liikennemäärä- ja välityskytytietoihin. Molemmat menetelmät antavat alle 1,0:n kuormitusasteella pienemmät maksimijononpituudet kuin mittauksissa havaittiin. HCM 2000 mukaan laskettu maksimijononpituus on mittauksessa havaittuja arvoja suurempi, kun kuormitusaste on vähintään 1,5

Liitteessä 5 on esitetty videokuvauksissa havaittujen ja ylläesitettyillä menetelmillä laskettujen maksimijononpituuksien erot 5 minuutin aikajaksoissa. HCM 2000:n mukaan lasketun ja kuvauksissa havaittujen maksimijononpituuksien ero oli -8,1 – +6,2 ajoneuvoa. Ruotsalaisen menetelmän ja kuvauksissa havaittujen välinen ero oli -4,5 – +1,6 ajoneuvoa.

Videokuvauksista määritettiin rampilla jonoon ajaneille ajoneuvoille jonottamisesta aiheutunut viivytys. Viivytys laskettiin viiveenä häiriöttömään läpi-ajoon aina siihen ajanhetkeen saakka, kun ajoneuvo oli jonon ensimmäisenä pysäytysviivalla. Rampilla jonottamisesta aiheutunut viivytys kasvaa kuormitusasteen funktiona *kuvassa 6* esitetyllä tavalla.



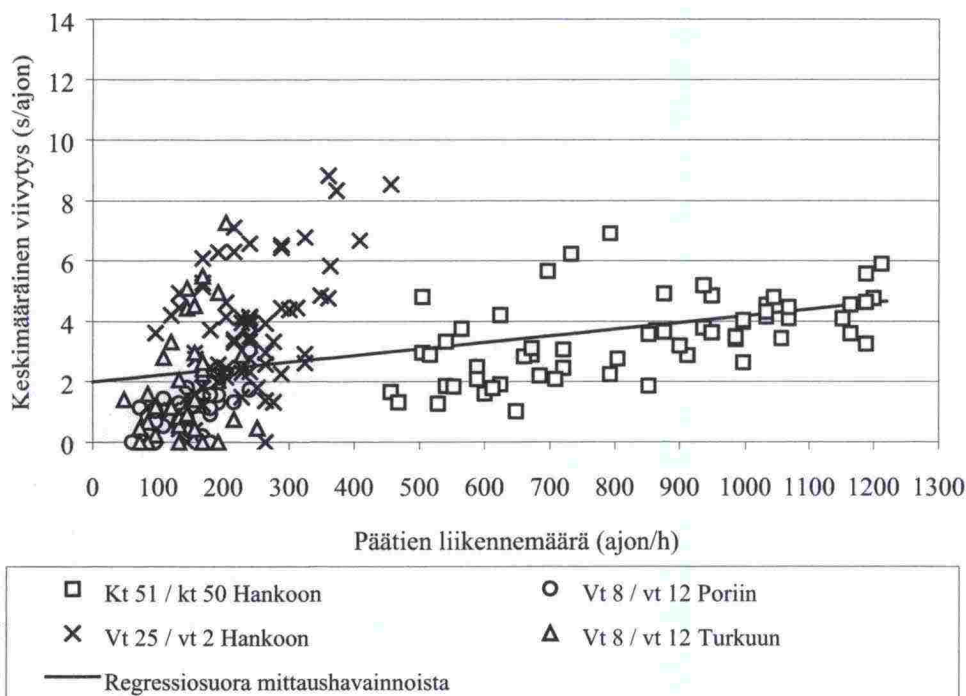
Kuva 6. Rampilla jonottamisesta aiheutunut keskimääräinen viivytys kiihdytyskaistattomissa liittymissä kuormitusasteen funktiona 5 minuutin aikajaksoissa ja vastaava regressiokäyrä.

Kun kuormitusaste oli alle 1,0, oli jonottamisesta aiheutunut keskimääräinen viivytys pääsääntöisesti alle 15 sekuntia. Havainnoista tehdyn regressiomallin selitysaste ja selittäjät ovat tilastollisesti merkitseviä riskitasolla 0,05. Regressiokäyrän yhtälö on *liitteessä 4*. Kuvaa tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että kt 51 / kt 50 -liittymässä päätien liikennemäärän ollessa suuri ajonopeuden alhainen, liittymä muuttui "vetoketjumaiseksi".

3.3.3 Liittymisaikavälin odottamisesta aiheutuva viivytys kiihdytyskaistattomissa liittymissä

Videokuvauksista määritettiin rampilta tuleville ajoneuvoille liittymiseen sopivan aikavälin odottamisesta aiheutuva viivytys. Viivytys määritettiin alkavaksi sillä ajanhetkellä, kun ajoneuvo oli jonon ensimmäisenä pysäytysviivalla ja päättyväksi sillä hetkellä, kun ajoneuvo liittyi päätielle.

Kuvassa 7 on esitetty liittymisaikavälin odottamisesta aiheutunut keskimääräinen viivytys 5 minuutin aikajaksoissa päätien liikennemäärän funktiona ja havainnoista määritetty regressiosuora. Regressiosuoran selitysaste ja yksittäiset selittäjät ovat tilastollisesti merkitseviä riskitasolla 0,05. Regressiosuoran yhtälö on liitteessä 6. Kuvasta havaitaan, että liittymisaikavälin odottamisesta aiheutunut keskimääräinen viivytys oli lähes kaikilla päätien liikennemäärillä alle 6 sekuntia. Tässä yhteydessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että kt 51 / kt 50 Hankoon -liittymässä päätien liikennemäärän ollessa suuri ja ajonopeuden alhainen, päätien ajoneuvot antoivat tilaa rampilta tuleville ja liittyminen tapahtui "vetoketjumaaisesti".

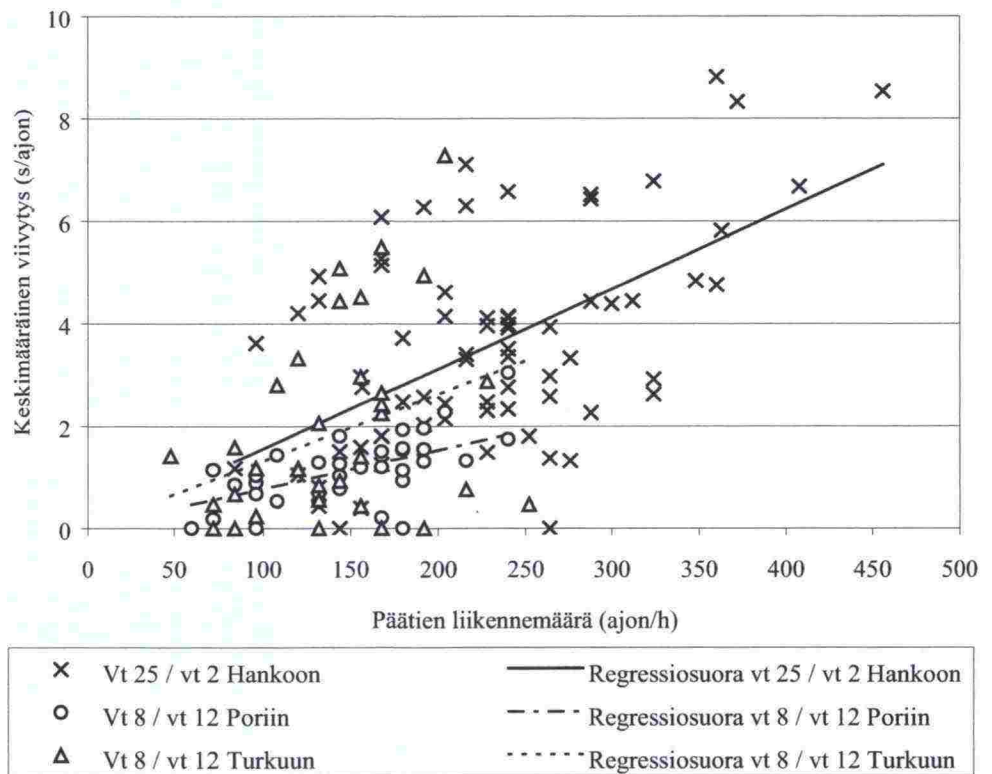


Kuva 7. Liittymisaikavälin odottamisesta aiheutunut keskimääräinen viivytys rampilla 5 minuutin aikajaksoissa videokuvausten perusteella ja vastaava regressiosuora.

Kuvassa 8 on verrattu liittymisaikavälin odottamisesta aiheutuvia viivytyksiä suuntaisliittymässä (vt 8 / vt 12) ja tulppaliittymässä (vt 25 / vt 2). Regressiosuorien perusteella keskimääräinen viivytys on tulppaliittymässä suurempi kuin suuntaisliittymässä. Toisaalta suuntaisliittymän ramppien välillä on suurempi ero kuin tulppaliittymän ja suuntaisliittymän toisen rampin välillä. Vertailussa täytyy myös ottaa huomioon, että suuntaisliittymän havainnot ovat

pienemmältä liikennemääräalueelta kuin tulppaliittymän havainnot. Regressiosuorien yhtälöt ovat liitteessä 6.

Liittymän geometrinen muotoilu ja näkemäolosuhteet päätien suuntaan vaikuttavat päätien liikennemäärän lisäksi siihen kuinka kauan ajoneuvot joutuvat odottamaan liittymiseen sopivaa aikaväliä. Jos tulppaliittymässä rampilta vasemmalle kääntyvät ajoneuvot peittävät näkemän päätien suuntaan oikealle kääntyviltä, oikealle kääntyvät saattavat hylätä suuriakin päätien aikavälejä. Samoin päätieltä oikealle rampille kääntyvät ajoneuvot saattavat peittää rampilta tulevien näkemän päätien suuntaan sekä tulppa- että suuntaisliittymässä.



Kuva 8. Liittymisaikavälin odottamisesta aiheutunut keskimääräinen viivytys rampilla 5 minuutin aikajaksoissa videokuvausten perusteella suuntaisliittymässä (vt 8 / vt 12) ja tulppaliittymässä (vt 25 / vt 2) sekä havainnot ja vastaavat regressiosuorat.

3.3.4 Ramppiajoneuvojen kokonaisviivytys kiihdytyskaistat- missa liittymissä

HCM 2000:ssa on esitetty laskentamenetelmä väistämisvelvolliselle suunnalle liittymisestä aiheutuvan viivytyksen arvioimiseksi tasoliittymässä (*Control Delay*). Viivytys on määritetty viiveenä häiriöttömään ajoon verrattuna. Viivytys alkaa, kun liittymään saapuva ajoneuvo alkaa hidastaa nopeuttaan sovittaakseen nopeutensa rampilla jonossa olevien ajoneuvojen nopeuden tasalle ja päättyy, kun ajoneuvo on ylittänyt pysäytysviivan ja kiihdyttänyt takaisin vapaaseen nopeuteen. Viivytykseen sisältyy siis jonotus rampilla, liittymiseen riittävän aikavälin odotus jonon ensimmäisenä sekä hidastamisesta ja kiihdyttämisestä aiheutuvat viiveet. Viivytys lasketaan *yhtälöstä (4)*. Yhtälön lopussa oleva 5 sekunnin vakio on hidastamiseen ja kiihdyttämiseen kuluva aika.

HCM 2000:n mukaan viivytys on riippuvainen sivusuunnan välityskyvystä sekä kuormitusasteesta. *Yhtälöä (4)* voidaan HCM 2000:n mukaan käyttää, kun sivusuunnan liikennemäärä on välityskykyä pienempi. Jos kuormitusaste on suurempi kuin noin 0,9, mittausjakson pituus vaikuttaa huomattavasti tuloksiin. HCM 2000 suosittelee useimmissa tapauksissa käytettäväksi 15 minuutin aikajaksoa.

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5 \quad (4)$$

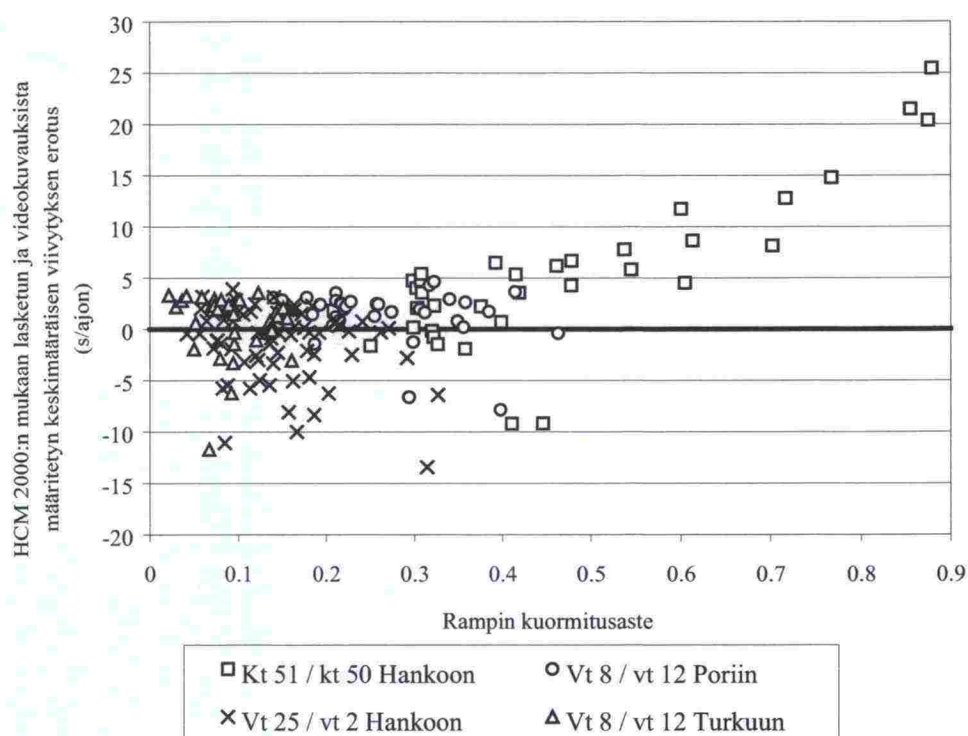
jossa d = sivusuunnan viivytys (*Control Delay*) (s/ajon)
 v_x = sivusuunnan liikennemäärä (ajon/h)
 $c_{m,x}$ = sivusuunnan välityskyky (ajon/h)
 T = mittausaikajakso (h) ($T=5/60$, kun aikajakso on 5 minuuttia).

Videokuvauksissa havaittuja ramppiajoneuvojen keskimääräisiä viivytyksiä verrattiin HCM 2000 mukaan laskettuun viivytykseen. Videokuvauksista määritetty kokonaisviivytys sisältää rampilla jonottamisesta aiheutuvan (luku 3.3.2) sekä liittymiseen sopivan aikavälin odottamisesta aiheutuvan (luku 3.3.3) viivytyksen. Vertailuissa HCM 2000:n *yhtälöstä (4)* jätettiin 5 sekunnin mittainen hidastamista ja kiihdyttämistä kuvaava vakio pois, sillä videokuvauksista ei ollut mahdollista selvittää hidastamisesta ja kiihdyttämisestä aiheutuvia viiveitä.

Kuvassa 9 on esitetty HCM 2000:n mukaan lasketun ja videokuvauksista määritetyn keskimääräisen viivytyksen erotus rampin kuormitusasteen mukaan Tarkasteluun on otettu vain ne 5 minuutin aikajaksot, joilla kuormitusaste oli korkeintaan 0,9.

Kuvasta havaitaan, että suurimmassa osassa aikajaksoista HCM 2000:n perusteella lasketun ja videokuvauksista määritetyn viivytyksen erotus on $-5 - +5$ sekuntia, kun rampin kuormitusaste on 0,5 tai pienempi. Näissä aikajak-

soissa videokuvauksista määritetty viivytys on 0–100 % pienempi kuin HCM 2000:n mukaan laskettu viivytys tai korkeintaan 2,3-kertainen. Rampin kuormitusasteen ollessa yli 0,5 (kt 51 / kt 50 Hankoon -liittymä) HCM 2000 antaa suurempia arvoja kuin maastotutkimus. Videokuvauksista määritetyt viivytykset olivat 32 % – 63 %:a pienemmät kuin HCM 2000:n mukaan lasketut viivytykset. Yli 0,5 kuormitusasteilla ajoneuvot eivät todellisuudessa ole joutuneet jonottamaan rampilla ja/tai odottamaan sopivaa aikaväliä pysäytysviivalla niin kauan kuin HCM 2000:n mukaan tapahtuisi. Osaltaan tähän vaikuttaa se, että päätien (kt 51) liikennemäärän ollessa suuri ja ajonopeuden alhainen, rampilta päätielle liittyminen muuttui "vetoketjumaiseksi". Havaintojen lukumäärä yli 0,5 kuormitusasteella oli myös pieni.

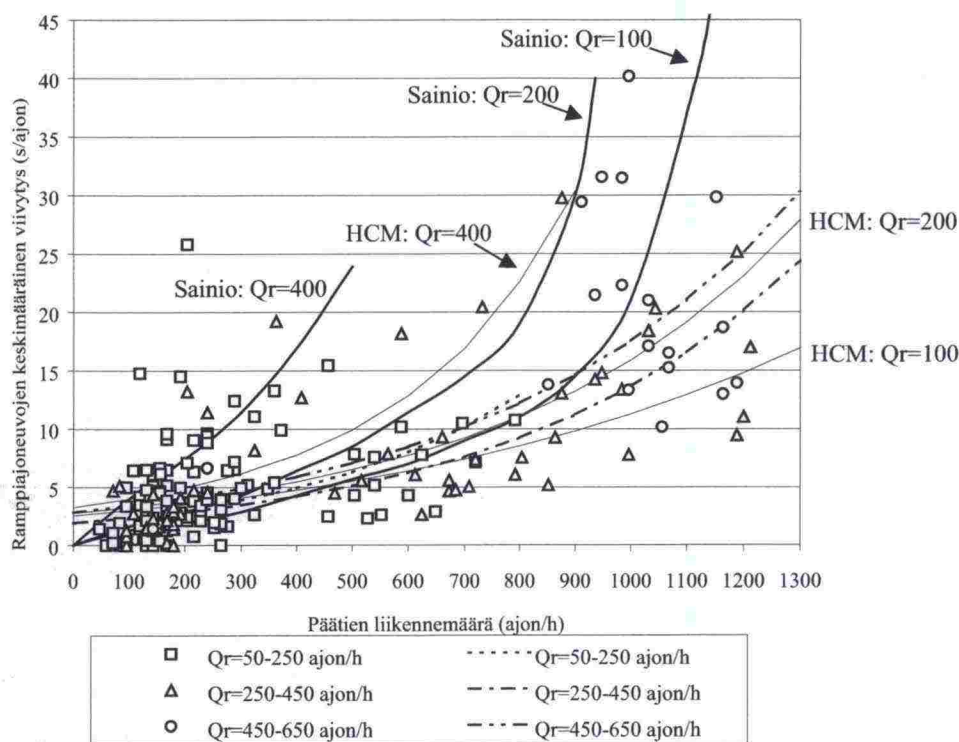


Kuva 9. HCM 2000:n mukaan lasketun sivusuunnan keskimääräisen viivytyksen (Control Delay) ja videokuvauksista määritetyn keskimääräisen viivytyksen erotus 5 minuutin aikajaksoissa rampin kuormitusasteen mukaan kiihdytyskaistattomissa liittymissä.

Videokuvauksissa havaitun keskimääräisen viivytyksen riippuvaisuus päätien ja rampin liikennemäärästä 5 minuutin aikajaksoissa on esitetty kuvassa 10. Aineisto on jaettu kolmeen luokkaan rampin liikennemäärän perusteella: $Q_r=50-250$ ajon/h ($N=118$), $Q_r=250-450$ ajon/h ($N=61$) ja $Q_r=450-650$ ajon/h ($N=20$). Havaintoihin on sovitettu regressiokäyrät, joiden yhtälöt on esitetty liitteessä 7. Mallit olivat tilastollisesti hyväksyttäviä riskitasolla 0,05. Kuvassa on myös HCM 2000 mukaan yhtälöllä (4) laskettu viivytys rampin liikennemäärän ollessa 100, 200 ja 400 ajon/h sekä Sainion tutkimuksessa havaittu jonotusajan riippuvaisuus päätien ja rampin liikennemäärästä. HCM 2000:n käyriä laskettaessa jätettiin yhtälöstä (4) 5 sekunnin mittainen hidasdastamista ja kiihdyttämistä kuvaava vakio pois.

Kuvasta 10 havaitaan, että Sainion tutkimuksen mukaan keskimääräinen jonotusaika tietyllä rampin liikennemäärällä on suurempi kuin HCM 2000:n mukaan laskettu viivytys lähes kaikilla päätien liikennemäärillä. Tiettyä rampin liikennemäärää kuvaavat Sainion ja HCM 2000:n käyrät leikkaavat toisensa, sillä Sainion käyrät kulkevat origon kautta.

Videokuvauksista määritetyt keskimääräisen viivytyksen regressiokäyrät ovat samanmuotoisia HCM 2000:n käyrien kanssa, mutta viivytykset ovat kahdessa suurimmassa rampin liikennemääräluokassa pienempiä kuin HCM 2000:n mukaan lasketut. Rampin liikennemäärää 250–450 ajon/h vastaava regressiokäyrä kulkee hieman HCM:n 200 ajon/h käyrän alapuolella ja rampin liikennemäärää 450–650 ajon/h vastaava regressiokäyrä kulkee selvästi HCM:n 400 ajon/h käyrän alapuolella. Sen sijaan videokuvauksissa havaitut viivytykset rampin liikennemäärän ollessa 50–250 ajon/h vastaavat hyvin HCM 2000:n mukaan laskettuja viivytyksiä rampin liikennemäärällä 200 ajon/h. Ero on alle 2 sekuntia (päätien liikennemäärä korkeintaan 800 ajon/h). Havaintojen määrä oli tässä liikennemääräluokassa selvästi suurempi kuin muissa. Suomessa perusverkon eritasoliittymien ramppien liikennemäärät ovatkin todennäköisesti pääosin tätä suuruusluokkaa.



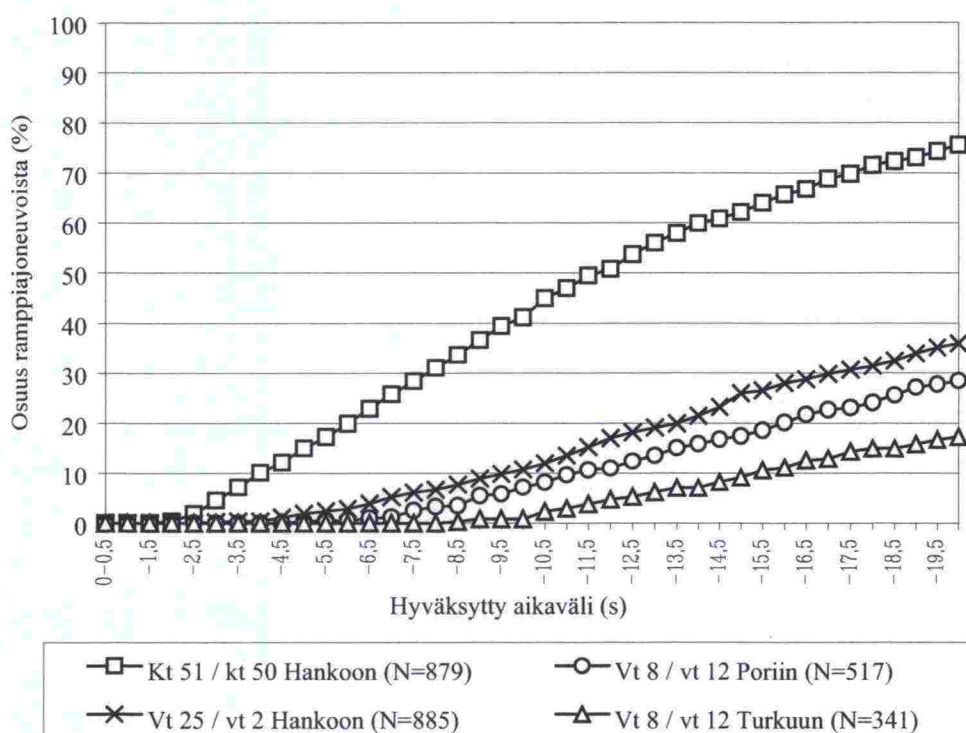
Kuva 10. Ramppiajoneuvojen keskimääräisen viivytyksen riippuvaisuus päätien ja rampin (Qr) liikennemäärästä kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella (5 minuutin aikajaksot) sekä vastaavat riippuvaisuudet Sainion ja HCM 2000:n mukaan.

3.3.5 Hyväksytyt aikavälit kiihdytyskaistattomissa liittymissä

Videoaineistoista määritettiin rampilta päätielle kääntyneille ajoneuvoille hyväksytty nettoaikaväli. Jos rampilta tullut ajoneuvo liittyi kahden päätien ajoneuvon väliin, määritettiin aikaväli etummaisesta päätiestä ajoneuvon perästä takimmaisesta keulaan. Jos ramppiajoneuvo liittyi päätielle edellä ajavan ramppiajoneuvon jälkeen, laskettiin hyväksytty aikaväli edellä ajavasta ramppiajoneuvosta. Joissakin tapauksissa kt 51 / kt 50 - ja vt 25 / vt 2 - liittymissä (23 ja 33 kpl) takana ajava ramppiajoneuvo liittyi ennen edellä ajavaa ramppiajoneuvoa, kun edellä ajava ajoi pientareella tai bussipysäkillä. Tällöin edellä ajavan ramppiajoneuvon hyväksymä nettoaikaväli määritettiin päättyväksi takana tulevaan ramppiajoneuvoon.

Kt 51 / kt 50 -liittymässä hyväksyttyjä aikavälejä ei otettu videoaineistosta enää klo 15.18 jälkeen, sillä liittymän kuormitusaste oli yli 1,00 ja päätien nopeustaso oli selvästi laskenut. Liittyminen oli muuttunut "vetoketjumaiseksi" päätien ajoneuvojen antaessa rampilta tuleville ajoneuvoille tilaa. Ennen klo 15.20 päätien liikennemäärä oli keskimäärin 710 ajon/h (vaihteluväli 5 min. jaksoissa 460–1 210 ajon/h), tämän jälkeen keskimäärin 1 060 ajon/h (880–1 310 ajon/h).

Ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien summakäyrät on esitetty kohteittain kuvassa 11. Hyväksytyt nettoaikavälit ovat riippuvaisia päätien liikennemäärästä eli siitä, kuinka pitkiä aikavälejä päätien liikennevirrassa on. Suurin osa ajoneuvoista liittyi yli 20 sekunnin aikaväliin muissa paitsi kt 51 / kt 50 -liittymässä.



Kuva 11. Ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien summakäyrät kohteittain kiihdytyskaistattomissa liittymissä.

Kahden päätien ajoneuvon väliin korkeintaan 10 sekunnin nettoaikaväliin liittyneiden ramppiajoneuvojen hyväksymät aikavälit on esitetty taulukossa 9. Aikavälien keskiarvo on pienin kt 51 / kt 50 -liittymässä, mutta muissa koh-teissa havaintojen lukumäärä on vähäinen. Kt 51 / kt 50 -liittymässä 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyi 3,1 sekunnin mittaisen tai sitä pienemmän ai-kavälin.

Taulukko 9. Kahden päätien ajoneuvon väliin liittyneiden ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien keskiarvot ja keskihajonnat kohteittain sekä ai-kaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ramppiajoneuvoista hyväk-syi. Mukana ovat tapaukset, joissa hyväksytty nettoaikaväli on ≤ 10 sekuntia.

Tutkimuskohde	Keskiarvo (s)	Keski- hajonta (s)	15 %:n hyväk- symä (s)	Havaintojen lukumäärä	Päätien liikennemäärä keskimäärin (ajon/h)
Kt 51/ kt 50 Hankoon	6,0	2,3	3,1	142	710
Vt 8 / vt 12 Poriin	8,3	1,3	-	9	150
Vt 8 / vt 12 Turkuun	8,6	0,5	-	2	140
Vt 25 / vt 2 Hankoon	7,1	2,0	4,7	33	230

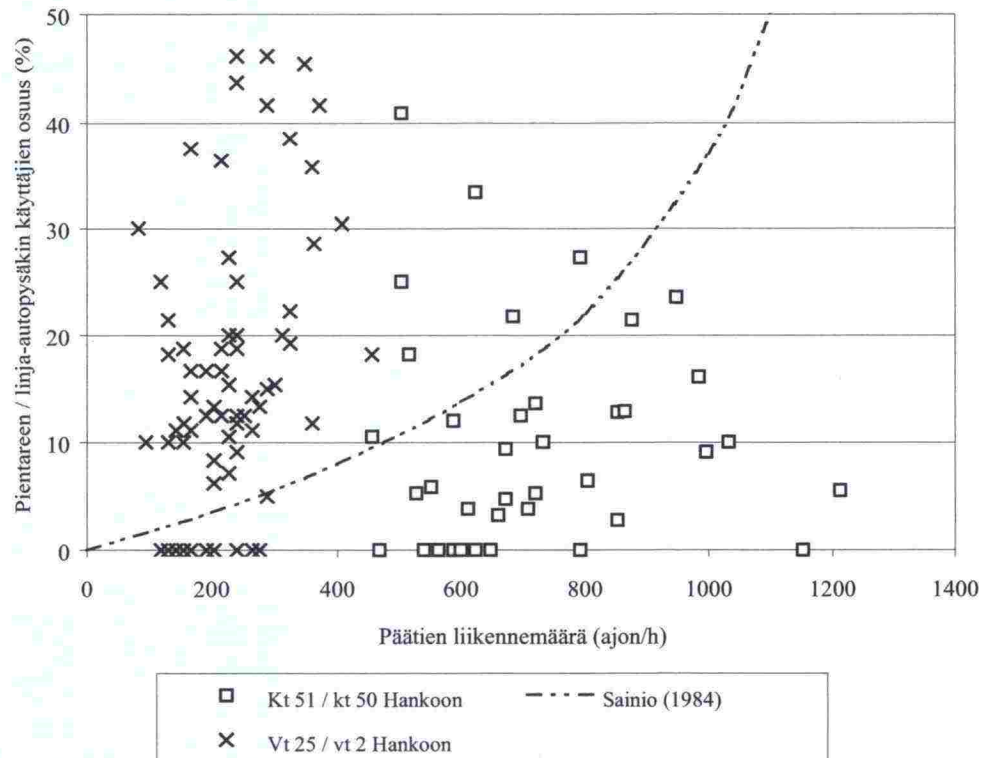
3.3.6 Pientareen ja linja-autopysäkin käyttö

Kantatiellä 51 on leveät pientareet kantatie 50:n liittymän kohdalla. Pienta-reen leveys on noin 2,15 metriä Hangon suunnan ramppiliittymän jälkeen aina 110 metrin etäisyydellä olevalle linja-autopysäkillä saakka. Tällä välillä on myös yksi tasoliittymä. Pysäkin (pituus 46 m) jälkeen pientareen leveys on noin 2,35 metriä. Joka kymmenes rampilta tullut ajoneuvo ajoikin pienta-reella ennen liittymistään kantatielle 51. Osuus on laskettu klo 12.06-15.20 välisenä aikana liittymään saapuneista. Vt 25 / vt 2 Hankoon -liittymässä noin 18 % ramppiajoneuvoista kääntyi linja-autopysäkillä ennen liittymistään päätielle.

Kuvassa 12 on esitetty pientareta ja linja-autopysäkkiä käyttäneiden ramp-piajoneuvojen osuuksien riippuvaisuus päätien liikennemäärästä. Osuudet on laskettu 5 minuutin aikajaksoista. Mittausaineistoihin ei sovitettu regres-siosuoria havaintojen suuren hajonnan vuoksi. Kuvassa on myös Sainion tutkimuksessa havaittu regressiokäyrä pientareen käytöstä Mäntsälän ja Puhjon kiihdytyskaistattomissa moottoriliikenneteliittymissä (Sainio 1984). Sainion tutkimuksessa pientareella ajaneiden osuus oli mitattu noin 30 met-rin etäisyydellä pysäytysviivasta, tässä tutkimuksessa pientareella ajaneeksi määritettiin jokainen, joka ajoi vähintään 5 metriä pientareella yhtenäisen reunaviivan alueella. Linja-autopysäkillä kääntyneet ajoivat tavallisesti lähes koko pysäkin matkan ennen liittymistään päätielle.

Kt 51 / kt 50 -liittymässä pientareen käyttäjien osuus oli lähes kaikissa 5 mi-nuutin aikajaksoissa pienempi kuin Sainion tutkimuksessa, vaikka jälkimmäi-nessä olivat mukana ainoastaan yli 30 metriä pientareella ajaneet. Kt 51 / kt 50 -liittymässä pientareella ajo ei ole yhtä yleistä kuin 1980-luvun puolivälis-sä tutkitussa kahdessa moottoriliikenneteliittymässä.

Vt 25:lla linja-autopysäkin käyttäjien osuus vaihteli suuresti eri 5 minuutin jaksoissa. Pysäkin käyttäjien osuus oli lähes kaikissa aikajaksoissa suurempi kuin pientareen käyttäjien osuus Sainion tutkimuskohteissa. Kt 51 / kt 50 -liittymän pientareen käyttöön pysäkillä ajoa ei voi verrata, sillä päätien liikennemäärät olivat kuvausaikana eri suuruusluokkaa.



Kuva 12. Pientareen käyttäjien (kt 51 / kt 50) ja linja-autopysäkin käyttäjien (vt 25 / vt 2) osuudet ramppiajoneuvoista videokuvausten perusteella 5 minuutin aikajaksoissa ja pientareen käyttäjien osuus Sainion tutkimuksessa (Sainio 1984).

3.4 Kiihdytyskaistalliset liittymät

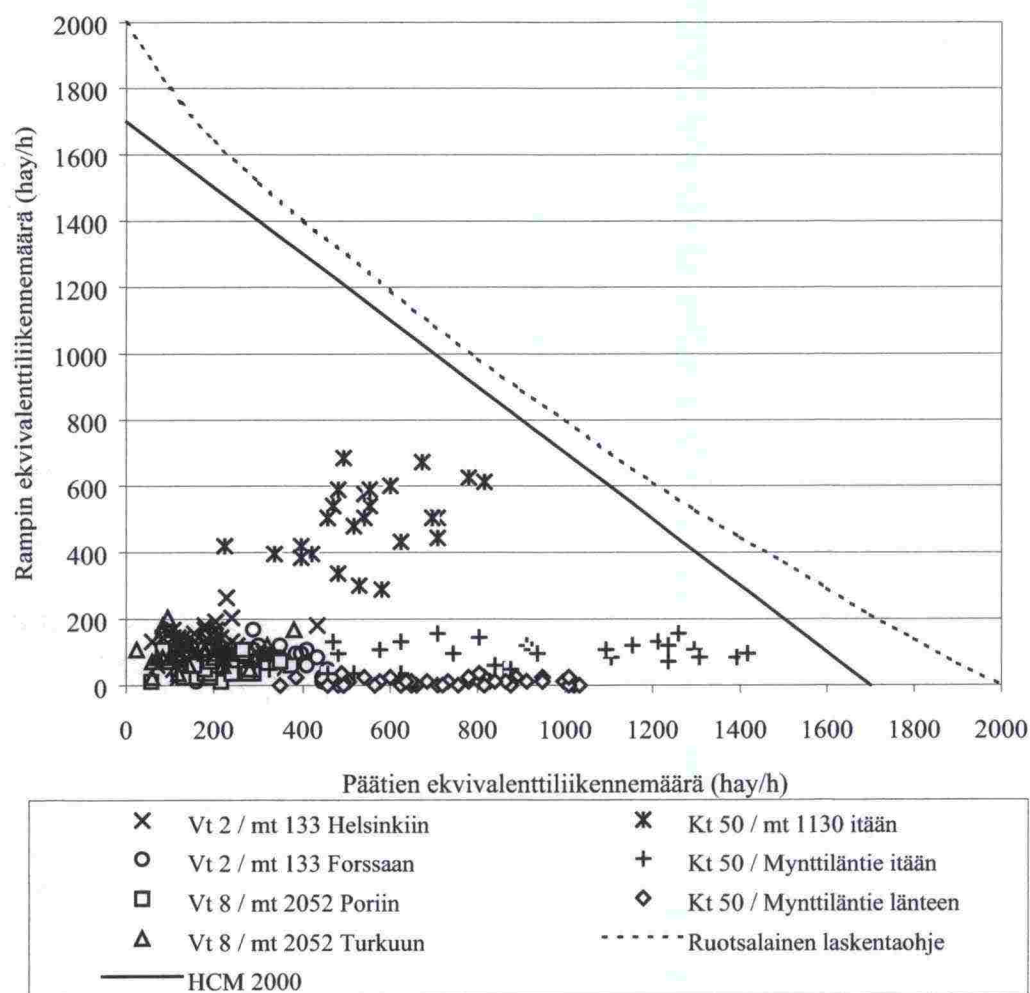
3.4.1 Liittymän välityskyky kiihdytyskaistallisessa liittymässä

Ruotsalaisessa laskentaohjeessa (Statens Vägverk 1977) on esitetty menetelmä kiihdytyskaistallisen rampin ja kaksi- tai useampikaistaisen päätien liittymän välityskyvyn määrittämiseksi. Ohjeessa päätien ja rampin liikennemääriä käsitellään henkilöautoekvivalentteina (hay/h). Kokonaisliikenne henkilöautoyksikköinä saadaan, kun tuntiliikennemäärää kasvatetaan raskaiden ajoneuvojen prosenttiosuuden verran.

HCM 2000:ssa ei ole esitetty kiihdytyskaistallisen rampin ja kaksikaistaisen päätien liittymän välityskykyarvoja. Ramppiliittymän välityskyvyn määrittäminen perustuu ohjeessa oletukseen, että päätie on vähintään nelikaistainen. Välityskyky on esitetty rampin ja päätien kahden reunimmaisen ajokaistan liikennemäärien summana, joten menetelmää ei voi suoraan soveltaa kaksi-

kaistaisiin teihin. Ohjeessa kuitenkin todetaan, että ramppliittymän välityskyky on ensisijaisesti riippuvainen päätien linjaosuuden välityskyvystä rampin jälkeen ja että liittymisalueen häiriöiden ei ole havaittu vaikuttavan välityskykyyn alentavasti. Siten rampin ja kaksikaistaisen päätien liittymän välityskyky on yhtäsuuri kuin kaksikaistaisen tien linjaosuuden välityskyky, joka ohjeen mukaan on ihanteellisissa olosuhteissa 1 700 hay/h yhteen suuntaan.

Kuvassa 13 on videokuvauksissa havaitut päätien ja rampin 5 minuutin aikajaksoihin perustuvat tuntiliikennemäärät henkilöautoyksiköiksi muutettuina sekä välityskykyä kuvaavat käyrät ruotsalaisen laskentaohjeen ja HCM 2000:n mukaan. Ramppliittymän välityskyky ei ylittynyt kuvausten aikana yhdessäkään tutkimuskohteessa, verrattiinpa liikennemääriä kumpaan välityskykykäyrään tahansa.

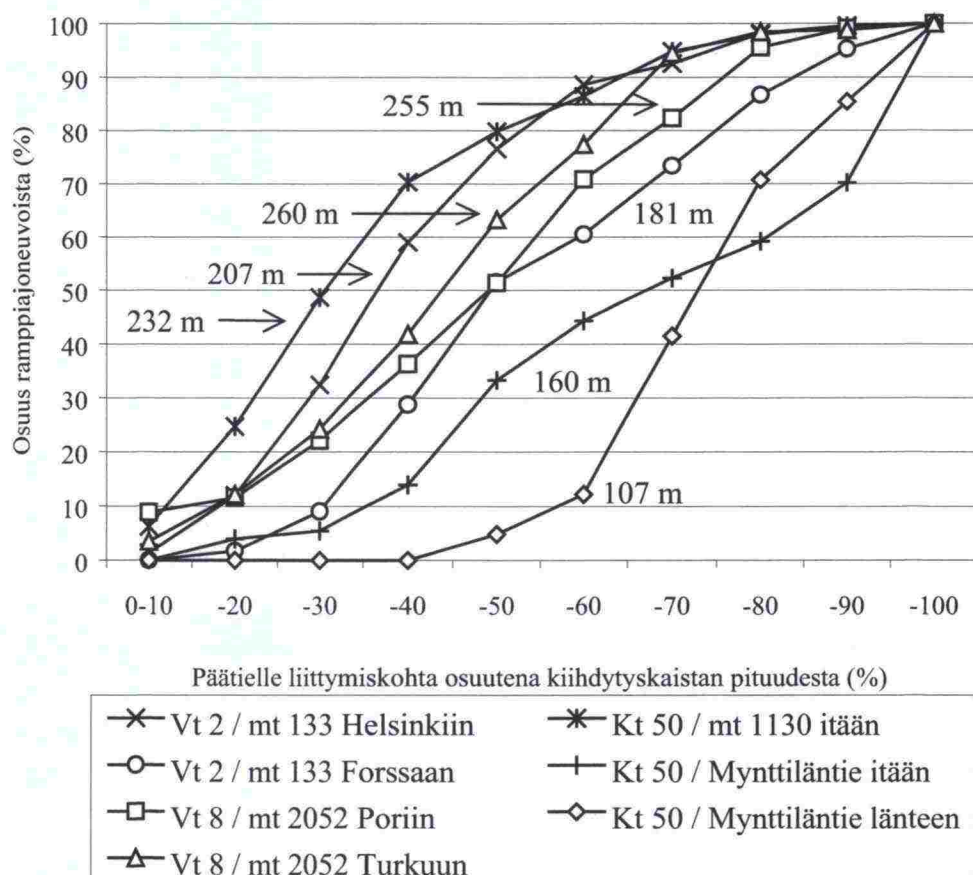


Kuva 13. Kiihdytyskaistallisen rampin ja päätien liikennemäärät videokuvauksissa kohteittain 5 minuutin aikajaksoissa ja välityskykyä kuvaavat käyrät ruotsalaisen laskentaohjeen ja HCM 2000:n mukaan.

3.4.2 Kiihdytyskaistalla ajettu matka

Videonauhoilta tarkasteltiin kiihdytyskaistan käyttöä. Ramppiajoneuvojen liittymiskohta päätielle määritettiin etäisyytenä rampin ja päätien maalatusta nokkapisteestä. Tutkimuskohteissa liittymiskaistan pituus (kaista+kiila) oli 107–260 m. Etäisyyden määrittäminen videokuvasta oli melko hankalaa perspektiivivaikutuksen vuoksi. Etäisyys määritettiin 5 metrin tarkkuudella.

Kuvassa 14 ovat ramppiajoneuvojen päätielle liittymiskohdan summakäyrät kiihdytyskaistan pituuden funktiona eri kohteissa (liitteessä 8 etäisyytenä rampin nokkapisteestä). Kuvasta havaitaan, että niissä kohteissa, joissa kiihdytyskaistan pituus oli vähintään 180 metriä, puolet ajoneuvoista liittyi päätielle viimeistään kiihdytyskaistan puolivälissä. Tätä lyhyemmillä kiihdytyskaistoilla liittyminen tapahtui selvästi myöhemmässä vaiheessa. Kt 50 / Mynttiläntie -liittymässä yli puolet länteen päin ajaneista ramppiajoneuvoista ajoi yli 70 % kiihdytyskaistan 107 metrin pituudesta ennen liittymistään päätielle. Idän suuntaan (160 m) vastaava osuus oli hieman alle puolet ajoneuvoista. Lisäksi noin joka kolmas ajoneuvo liittyi päätielle vasta kiihdytyskaistan loppupäässä, kahdenkymmenen viimeisen metrin aikana.



Kuva 14. Rampilta tulleiden ajoneuvojen päätielle liittymiskohdan summakäyrät kiihdytyskaistan pituuden funktiona.

Päätielle liittymiskohdan riippuvaisuutta päätien ja rampin liikennemääristä selvitettiin regressioanalyysillä. Liittymiskohta ei ollut riippuvainen rampin liikennemäärästä yhdessäkään kohteessa. Tosin rampin liikennemäärän vaihtelualue oli kaikissa kohteissa videokuvausten aikana pieni. Päätien liikennemäärällä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus kiihdytyskaistan käyttöön ainoastaan kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä, jossa päätien liikennemäärän vaihtelualue oli suurin. Muissa kohteissa videokuvausten aikana havaituilla liikennemäärillä ei ollut vaikutusta kiihdytyskaistan käyttöön.

Kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä ramppiajoneuvojen päätielle liittymiskohta on riippuvainen päätien liikennemäärästä seuraavasti (mallin selitysaste $R^2=13,7$):

$$s = 55,20 + 0,0159 * Q_p$$

jossa s = kiihdytyskaistalla ajettu matka osuutena kiihdytyskaistan pituudesta (%). Kiihdytyskaistan pituus = 160 m.

Q_p = päätien liikennemäärä (ajon/h).

Malli on voimassa päätien liikennemäärän ollessa 280–1360 ajon/h ja rampin liikennemäärän ollessa korkeintaan 160 ajon/h.

3.4.3 Matkanopeus kiihdytyskaistalla

Videoaineistoista määritettiin rampilta saapuvien ajoneuvojen matkanopeus kiihdytyskaistalla rampin maalatun nokkapisteen ja päätielle liittymispaikan välillä. Ajoneuvojen matkanopeus on riippuvainen kiihdytyskaistalla ajetusta matkasta ja siihen käytetystä ajasta. Rampin pysty- ja vaakageometria vaikuttavat puolestaan siihen, millä nopeudella ajoneuvot voivat saapua kiihdytyskaistalle. Laskettujen matkanopeuksien tarkkuus on riippuvainen etäisyydenmäärittelyn tarkkuudesta, joka videoaineistojen käsittelyssä on noin ± 5 metriä. Matka-aika määritettiin kymmenesosasekunnin tarkkuudella.

Taulukossa 10 on esitetty kevyiden ja raskaiden ramppiajoneuvojen matkanopeuksien keskiarvot kiihdytyskaistalla kohteittain. Kevyiksi luokiteltiin ilman perävaunua ajavat henkilö- ja pakettiautot sekä moottoripyörät, muut ajoneuvot ja ajoneuvoyhdistelmät luokiteltiin raskaiksi. Kevyiden ajoneuvojen matkanopeuksien keskiarvo vaihteli välillä 52–77 km/h ja raskaiden ajoneuvojen välillä 40–69 km/h. Keskiarvot olivat pienimmät kt 50 / mt 1130 -liittymässä, jossa päätien nopeusrajoitus nousee 60 km/h:sta 80 km/h:aan kiihdytyskaistan päättymisen jälkeen. Suurimmat matkanopeudet havaittiin vt 8 / mt 2052 -liittymässä.

Vt 8 / mt 2052 -liittymässä saapuvan rampin geometria vaikuttaa todennäköisesti siihen, että matkanopeuksien keskiarvot ovat varsinkin Turun suuntaan suuremmat kuin muissa kohteissa. Liittymisrampit ovat pitkiä, loiva-kaarteisia ja alamäessä kohti päätietä. Muissa liittymissä ajoneuvot kiihdyttävät kiihdytyskaistalla todennäköisesti voimakkaammin kuin vt 8 / mt 2052 -liittymässä ja liittymisnopeus lienee selvästi keskimääräistä matkanopeutta suurempi. Vt 8 / mt 2052 -liittymässä suotuisan geometrian ansiosta ajonopeus on todennäköisesti melko korkea jo kiihdytyskaistalle saavuttaessa,

jolloin liittymisnopeus lienee melko lähellä keskimääräistä matkanopeutta. Videoaineistosta ei ollut riittävällä tarkkuudella mahdollista selvittää ajoneuvojen pistenopeuksia kiihdytyskaistalle saavuttaessa ja päätielle liittyttäessä

Taulukko 10. Ramppiajoneuvojen matkanopeuksien keskiarvot kiihdytyskaistalla kohteittain (osalle ajoneuvoista matkanopeutta ei voitu määrittää videokuvasta).

Tutkimuskohde	Matkanopeus kiihdytyskaistalla keskimäärin (km/h)		Ajoneuvojen lukumäärä	
	Kevyet	Raskaat	Kevyet	Raskaat
Kt 50 / mt 1130 itään, 232 m *	52	40	818	66
Kt 50 / Mynttiläntie itään, 160 m	63	47	178	21
Kt 50 / Mynttiläntie länteen, 107 m	62	53	36	5
Vt 2 / mt 133 Helsinkiin, 207 m	64	54	452	57
Vt 2 / mt 133 Forssaan, 181 m	63	64	210	20
Vt 8 / mt 2052 Poriin, 255 m	67	65	59	52
Vt 8 / mt 2052 Turkuun, 260 m	77	69	210	44

*Päätien nopeusrajoitus liittymän kohdalla 60 km/h, nousee 80 km/h:iin heti kiihdytyskaistan päättymisen jälkeen.

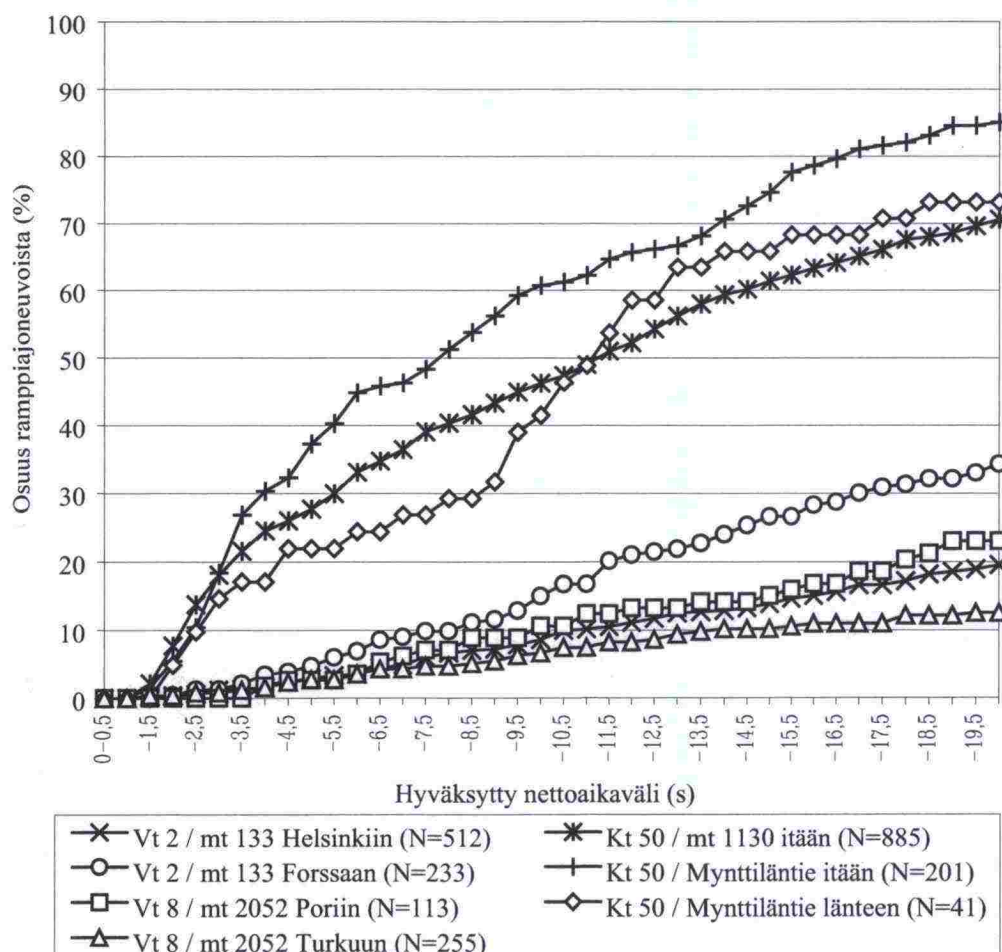
Matkanopeuden riippuvaisuutta päätien ja rampin liikennemääristä selvitetiin regressioanalyysillä. Analyysin perusteella matkanopeus kiihdytyskaistalla ei ollut yhdessäkään kohteessa riippuvainen päätien tai rampin liikennemäärästä.

3.4.4 Hyväksytyt aikavälit kiihdytyskaistallisessa liittymässä

Videoaineistoista tarkasteltiin rampilta saapuvien ajoneuvojen hyväksymiä päätien nettoaikavälejä. Ramppiajoneuvon liittyessä kahden päätien ajoneuvon väliin määritettiin hyväksytty nettoaikaväli edellä ajavan päätien ajoneuvon perästä takana tulevan päätien ajoneuvon keulaan. Mikäli rampilta saapui jono, joka liittyi päätielle saapumisjärjestyksessä, laskettiin jonossa olevien hyväksymä nettoaikaväli edellä ajavasta ramppiajoneuvosta seuraavaan päätien ajoneuvoon. Jos taas jonossa takana tuleva ramppiajoneuvo liittyi päätielle ennen edellä ajavaa ramppiajoneuvoa, määritettiin edellä ajavan ramppiajoneuvon hyväksymä aikaväli päättyneeksi takana tulevaan ramppiajoneuvoon. Hyväksytyjen päätien nettoaikavälien lisäksi tarkasteltiin liittymishetkellä ramppiajoneuvon eteen ja taakse jääneitä nettoaikavälejä.

Kuvaan 15 on piirretty hyväksytyjen nettoaikavälien summakäyrät eri kohteissa. Kuvasta havaitaan, että kaikissa muissa paitsi kt 50:n liittymissä rampilta tulevat ajoneuvot liittyivät suuriin päätien aikaväleihin. Päätien liikennemäärä olikin näissä kohteissa vähäinen. Päätien liikennemäärä oli suurin kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä, jossa ramppiajoneuvot liittyivät pienempiin

aikaväleihin kuin muissa kohteissa. Huomionarvoista kuitenkin on, että aivan pieniä päätien aikavälejä (< 3 s) hyväksyttiin kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä useammin kuin Mynttiläntien liittymässä, vaikka päätien liikennemäärä ja pienten aikavälien osuus oli siellä pienempi.



Kuva 15. Ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien summakäyrät kiihdytyskaistallisissa suuntaisliittymissä.

Taulukossa 11 on esitetty hyväksyttyjen nettoaikavälien keskiarvot ja keskihajonnat ramppiajoneuvon liittyessä kahden päätien ajoneuvon väliin. Mukaan on otettu tapaukset, joissa hyväksytty nettoaikaväli on korkeintaan 10 sekuntia. Lisäksi on tarkasteltu ramppiajoneuvojen hyväksymiä pieniä päätien aikavälejä. Taulukossa on esitetty nettoaikavälit, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyi päätielle liittymiseen. Hyväksyttyjen nettoaikavälien vastaavat keskiarvot ja hajonnat ajoneuvotyyppin (kevyt / raskas) ja saapumistavan (vapaa / jonossa) mukaan jaoteltuna ovat taulukossa 12. Jonossa olevaksi määriteltiin ramppiajoneuvo, jonka bruttoaikaväli edellä ajavaan ramppiajoneuvoon oli rampin nokkapisteessä ≤ 5 sekuntia.

Hyväksyttyjen nettoaikavälien keskiarvoja tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että hyväksytyt aikavälit ovat riippuvaisia päätien liikennemäärästä, eli siitä, minkälaisia aikavälejä päätien liikennevirrassa on tarjolla liittymiseen.

Kaikissa muissa paitsi kt 50 idän suunnan liittymissä päätien liikennemäärä oli niin vähäinen, että korkeintaan 10 sekunnin aikaväliin liittyneiden lukumäärä oli pieni.

Taulukko 11. Kahden päätien ajoneuvon väliin liittyneiden ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien keskiarvot ja keskihajonnat kohteittain sekä aikaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyi. Mukana ovat tapaukset, joissa hyväksytty nettoaikaväli on ≤ 10 sekuntia.

Tutkimuskohde	Keskiarvo (s)	Keskihajonta (s)	15 % hyväksymä (s)	Havaintojen lukumäärä	Päätien liikennemäärä keskimäärin (ajon/h)
Kt 50 / mt 1130 itään, 232 m	4,1	2,3	1,8	254	510
Kt 50 / Mynttiläntie itään, 160 m	4,7	2,4	2,1	98	830
Kt 50 / Mynttiläntie länteen, 107 m	5,4	3,0	2,2	17	650
Vt 2 / mt 133 Helsinkiin, 207 m	6,4	2,3	3,5	29	150
Vt 2 / mt 133 Forssaan, 181 m	5,9	2,3	3,2	25	270
Vt 8 / mt 2052 Poriin, 255 m	5,4	2,0	-	6	170
Vt 8 / mt 2052 Turkuun, 260 m	4,7	2,8	-	5	100

Taulukosta 11 havaitaan, että kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä hyväksyttyjen aikavälien keskiarvo on suurempi kuin kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä, vaikka päätien liikennemäärä ja siten pienten aikavälien osuus on Mynttiläntien liittymässä suurempi. Samoin aikaväli, jonka 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyi, on Mynttiläntien liittymässä suurempi kuin mt 1130 -liittymässä. Osittain erot johtuvat siitä, että alle 10 sekunnin aikaväliin liittyneistä yli puolet oli mt 1130 -liittymässä jonossa, kun taas Mynttiläntien liittymässä jonossa oli vain 5 % ajoneuvoista. Jonossa rampille saapuneet ajoneuvot hyväksyivät mt 1130 -liittymässä selvästi pienempiä päätien aikavälejä kuin vapaat ajoneuvot (taulukko 12).

Muissa tutkimuskohteissa korkeintaan 10 sekunnin mittaisten hyväksyttyjen päätien aikavälien keskiarvo vaihteli 4,7–6,4 sekuntiin. Havaintojen lukumäärä oli kuitenkin niin vähäinen, että tulosten vertailu ei ole järkevää. Samoin raskaiden ajoneuvojen lukumäärät ja jonossa ajavien lukumäärä muissa kuin kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä olivat hyvin vähäiset.

Taulukko 12. Vapaiden ja jonossa ajavien sekä kevyiden ja raskaiden ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien keskiarvot ja keskihajonnat kahden päätien ajoneuvon väliin liittyttäessä. Mukana ovat tapaukset, joissa hyväksytty nettoaikaväli on ≤ 10 s. Jonossa ajavilla bruttoaikaväli edellä ajavaan rampin nokkapisteessä on ≤ 5 s.

Tutkimuskohde	Vapaat			Jonossa			Kevyet			Raskaat		
	Ka (s)	Haj (s)	N	Ka (s)	Haj (s)	N	Ka (s)	Haj (s)	N	Ka (s)	Haj (s)	N
Kt 50 / mt 1130 itään, 232 m	4,5	2,5	118	3,8	2,1	136	4,0	2,3	240	5,5	2,4	14
Kt 50 / Mynttiläntie itään, 160 m	4,8	2,5	93	3,5	1,4	5	4,7	2,4	93	4,5	2,2	5
Kt 50 / Mynttiläntie länteen, 107 m	5,4	3,0	17	-	-	0	4,7	2,9	14	8,6	1,6	3
Vt 2 / mt 133 Helsinkiin, 207 m	6,3	2,3	28	7,4	-	1	6,5	2,2	28	3,3	-	1
Vt 2 / mt 133 Forssaan, 181 m	5,9	2,2	22	6,0	3,4	3	5,6	2,2	23	9,2	0,8	2
Vt 8 / mt 2052 Porin, 255 m	5,1	2,1	5	6,7	-	1	6,3	2,4	3	4,5	1,2	3
Vt 8 / mt 2052 Turkuun, 260 m	4,7	2,8	5	-	-	0	4,7	2,8	5	-	-	0

Vapaiden ajoneuvojen hyväksymien päätien aikavälien keskiarvo on kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä 4,5 sekuntia ja kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä hieman suurempi, 4,8 sekuntia. Kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä 15 % vapaista ajoneuvoista hyväksyi 1,9 sekunnin mittaisen tai sitä pienemmän aikavälin, kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä vastaava arvo oli 2,1 sekuntia. Erot saattavat johtua siitä, että Mynttiläntien liittymässä kiihdytyskaista on lyhyempi kuin mt 1130 -liittymässä. Liittyvän ramppiajoneuvon ja päätien ajoneuvon välinen nopeusero saattaa olla suurempi kuin mt 1130 -liittymässä, jolloin kaikkein pienimpiä päätien aikavälejä ei ole mahdollista käyttää liittymiseen.

Tanskalaisessa tutkimuksessa havaittiin, että aikaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyy, yleensä kasvaa kun liittyvän ajoneuvon ja päätien ajoneuvon välinen nopeusero kasvaa. Mukaan oli otettu korkeintaan 10 sekunnin mittaiset aikavälit. Tutkimuksessa havaittiin myös, että lyhyt kiihdytyskaista tai huono näkemä päätielle lisäävät ramppiajoneuvon ja päätien ajoneuvon välistä nopeuseroa. Tutkimuksessa oli tarkasteltu liittymistoimintoja moottoriteillä Tanskassa, Saksassa, Alankomaissa ja Espanjassa (Nielsen ja Rysgaard 1995).

Vuonna 1999 tehdyssä suomalaisessa tutkimuksessa (Siimes 1999) havaittiin, että hyväksytyjen nettoaikavälien keskiarvo oli Kehä I / Vihdintie -liittymässä 4,0 sekuntia (hajonta 2,2 s) ja vt 3 / Kaivoksela -liittymässä 5,0 sekuntia (hajonta 2,3 s). Mukana olivat korkeintaan 10 sekunnin mittaiset aikavälit. Tuloksia ei suoraan voi verrata tähän tutkimukseen, sillä kohteissa oli päätiellä enemmän kuin yksi ajokaista molempiin suuntiin. Havaintojen lukumäärä oli myös selvästi suurempi kuin tässä tutkimuksessa (804 ja 503) ja

mukana oli myös toisen ramppiajoneuvon taakse liittyneitä. Hyväksytyjen nettoaikavälien keskiarvot olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa.

Taulukossa 13 on esitetty päätien ajoneuvon eteen ja/tai taakse liittyvien ramppiajoneuvojen keskimääräiset nettoaikavälit niistä havainnoista, joissa aikaväli eteen ja/tai taakse on korkeintaan 5 sekuntia. Tuloksista havaitaan, että ramppiajoneuvon taakse jäävä aikaväli on kaikissa kohteissa suurempi kuin eteen jäävä aikaväli, mikä onkin luonnollista liittymistapahtumassa. Samoin aikaväli, jonka 15 % ajoneuvoista hyväksyy, on lähes kaikissa kohteissa suurempi ajoneuvon taakse kuin eteen. Kt 50 kahdessa idän suunnan liittymässä ei ramppiajoneuvon taakse jääneissä aikaväleissä ollut eroa.

Taulukko 13. Ramppiajoneuvon eteen ja taakse jäävien nettoaikavälien keskiarvot ja keskihajonnat sekä aikaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % kuljettajista hyväksyi liittyessään päätien ajoneuvon eteen ja/tai taakse. Mukana ovat tapaukset, joissa ramppiajoneuvon eteen ja/tai taakse jäävä nettoaikaväli ≤ 5 s.

Tutkimuskohde	Nettoaikaväli ramppiajoneuvon eteen				Nettoaikaväli ramppiajoneuvon taakse			
	Ka (s)	Haj (s)	15 % hyväksymä (s)	N	Ka (s)	Haj (s)	15 % hyväksymä (s)	N
Kt 50 / mt 1130 itään, 232 m	1,7	1,2	0,6	390	2,1	1,4	0,8	352
Kt 50 / Mynttiläntie itään, 160 m	1,8	1,1	0,8	123	2,1	1,2	0,8	110
Kt 50 / Mynttiläntie länteen, 107 m	1,7	1,1	0,8	32	2,1	1,2	0,5	15
Vt 2 / mt 133 Helsinkiin, 207 m	2,1	1,4	0,8	94	2,9	1,3	1,2	59
Vt 2 / mt 133 Forssaan, 181 m	2,0	1,4	0,7	84	3,4	1,1	2,1	42
Vt 8 / mt 2052 Poriin, 255 m	1,6	1,2	0,7	27	3,0	1,3	1,1	12
Vt 8 / mt 2052 Turkuun, 260 m	2,2	1,6	0,5	28	2,7	1,5	0,8	27

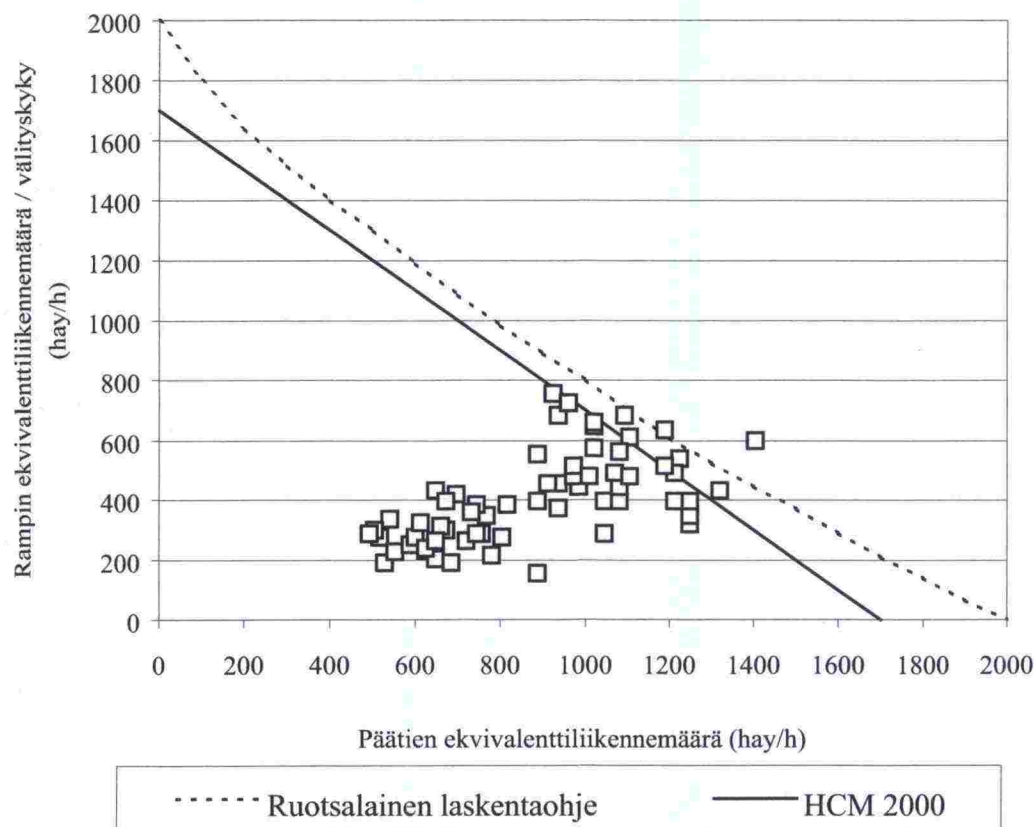
3.5 Maastomittautulosten vertailu

3.5.1 Liittymän liikennemäärä ja välityskyky

Tutkimuskohteista suurin osa oli melko vähäliikenteisiä. Kiihdytyskaistattomista kohteista oli vilkkain kt 51 / kt 50 -liittymä, jossa päätien liikennemäärä oli tutkimussuuntaan rampin jälkeen keskimäärin 1 200 ajon/h. Muissa kiihdytyskaistattomissa kohteissa keskimääräinen liikennemäärä jäi alle 500 ajon/h. Kiihdytyskaistallisista liittymistä vilkkaimmat olivat kaksi kantatien 50 liittymää. Päätien liikennemäärä oli molemmissa liittymissä itään päin rampin jälkeen keskimäärin hieman alle 1 000 ajon/h ja toisessa näistä länteen päin noin 700 ajon/h. Muut kiihdytyskaistalliset liittymät olivat selvästi vähäliikenteisempiä: päätien liikennemäärä oli tutkimussuuntaan rampin jälkeen alle 350 ajon/h.

Tutkimuskohteiden liikennemääriä verrattiin kirjallisuudesta löytyneisiin vastaavan tyyppisten liittymien välityskykyarvoihin. Kiihdytyskaistattomista liittymistä välityskyky ylittyi vilkkaimmassa kohteessa, kt 51 / kt 50 -liittymässä. Videokuvaus tehtiin siellä perjantai-iltapäivänä ja liittymän kuormitusaste nousi yli 1,00:n klo 15.00 jälkeen. Muissa kiihdytyskaistattomissa kohteissa kuormitusaste oli videokuvausten aikana alle 0,50, vaikka kuvaukset tehtiin vilkkaimpaan aikaan. Kiihdytyskaistallisissa kohteissa liittymän välityskyky ei ylittynyt.

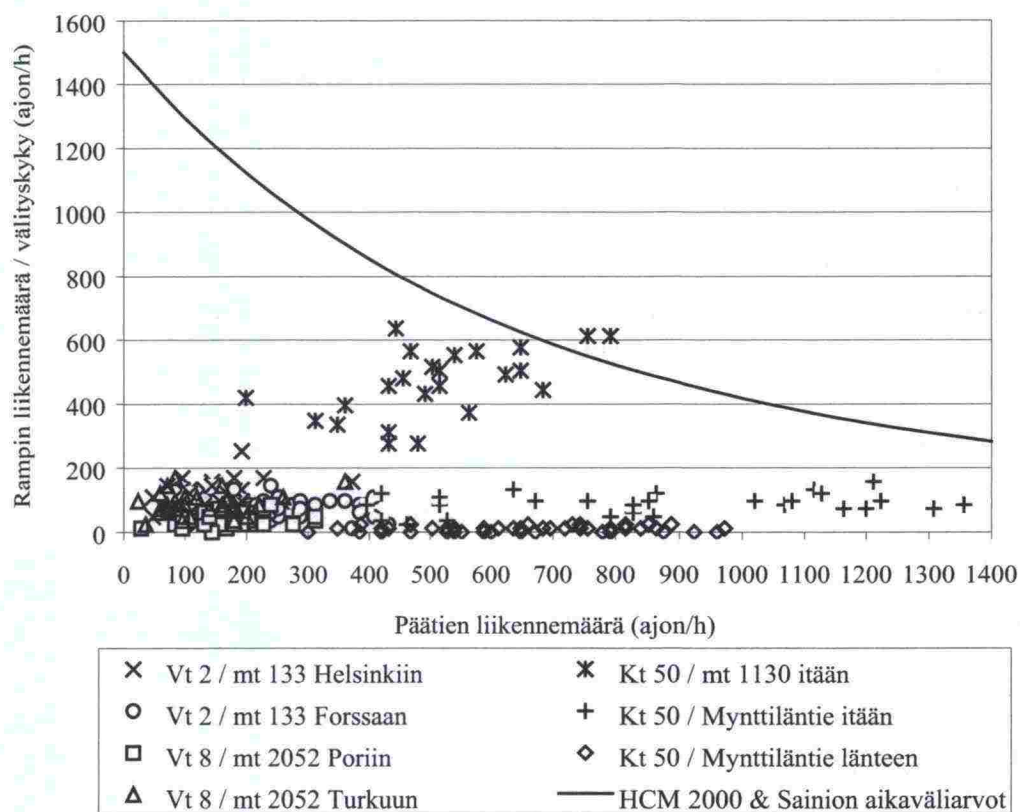
Seuraavassa kuvassa on tarkasteltu kiihdytyskaistan vaikutusta kiihdytyskaistattoman kt 51 / kt 50 -liittymän välityskykyyn. Kuvaan on piirretty videokuvauksissa havaitut 5 minuutin aikajaksojen mukaiset tuntiliikennemäärät henkilöautoyksikköinä, jotka saadaan, kun liikennemääriä kasvatetaan raskaiden ajoneuvojen prosenttiosuuden verran. Kiihdytyskaistallisen liittymän välityskykyä kuvaavat käyrät ovat HCM 2000:sta ja ruotsalaisesta laskentaohjeesta. Jos liittymässä olisi ollut kiihdytyskaista, olisi liittymän välityskyky riittänyt videokuvausten aikana lähes kaikkien 5 minuutin jaksojen aikana, verrattiinpa liikennemääriä kumpaan välityskykykäyrään tahansa.



Kuva 16. Päätien ja rampin liikennemäärät videokuvauksessa kiihdytyskaistattomassa kt 51 / kt 50 -liittymässä sekä kiihdytyskaistallisen liittymän välityskykyä kuvaavat käyrät HCM 2000:n ja ruotsalaisen laskentaohjeen mukaan.

Kuvassa 17 on vastaavasti tarkasteltu kiihdytyskaistallisten liittymien välityskyvyn riittävyyttä videokuvausten aikana, jos liittymissä ei olisi ollut kiihdytys-

kaistaa. Päätien ja rampin tuntiliikennemäärät ovat 5 minuutin jaksoista. Kiihdytyskaistattoman liittymän välityskykyä kuvaava käyrä on määritetty HCM 2000:n mukaan käyttäen Sainion tutkimuksesta saatuja lähtöaikavälin ja kriittisen aikavälin arvoja raskaiden ajoneuvojen osuuden ollessa 10 % (Sainio 1984). Kuvan perusteella liittymän välityskyky olisi ylittynyt kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä kahden 5 minuutin jakson aikana. Muissa kohteissa liittymän välityskyky olisi videokuvausten aikana riittänyt, vaikka liittymässä ei olisi ollut kiihdytyskaistaa.



Kuva 17. Päätien ja rampin liikennemäärät videokuvausten aikana kiihdytyskaistallisissa liittymissä sekä kiihdytyskaistattoman liittymän välityskykykäyrä HCM 2000:n mukaan Sainion aikaväliarvoilla (Sainio 1984).

Edellä esitettyjen vertailujen perusteella voidaan todeta, että liittymän riittävän välityskyvyn varmistamiseksi kiihdytyskaista on tutkituista kohteista ainakin hetkellisesti tarpeen kahdessa vilkasliikenteisimmässä, kt 51 / kt 50 -liittymässä sekä kt 50 / mt 1130 -itään liittymässä. Muissa kohteissa ilman kiihdytyskaistaakin toteutettu liittymä olisi riittänyt välittämään videokuvausten aikaiset liikennemäärät.

3.5.2 Hyväksytyt aikavälit

Rampilta päätielle liittyneille ajoneuvoille määritettiin videokuvauksista hyväksytyt nettoaikavälit. Hyväksytyt aikavälit ovat riippuvaisia siitä, minkälaisia aikavälejä päätien liikennevirrassa on tarjolla liittymiseen. Suurimmassa osassa kohteista päätien ja rampin liikennemäärät olivat niin vähäiset, että

kaksi kolmasosaa ajoneuvoista liittyi yli 20 sekunnin aikaväliin. Taulukkoon 14 on koottu tulokset kahden päätien ajoneuvon väliin liittyneiden ramppi-ajoneuvojen hyväksymistä nettoaikaväleistä, kun hyväksytty aikaväli on korkeintaan 10 sekuntia. Havaintojen lukumäärä oli lähes kaikissa kohteissa pieni.

Kiihdytyskaistan vaikutusta hyväksyttyihin aikaväleihin voidaan tarkastella vertaamalla tuloksia kt 51 / kt 50 Hankoon -liittymässä ja kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä, joissa päätien liikennemäärä on samaa suuruusluokkaa ja havaintojen lukumäärä kohtuullinen. Kiihdytyskaistallisessa liittymässä hyväksyttyjen aikavälien keskiarvo on 4,7 sekuntia, kiihdytyskaistattomassa liittymässä se on selvästi suurempi, 6,0 sekuntia. Samoin aikaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyy, on kiihdytyskaistattomassa liittymässä selvästi suurempi kuin kiihdytyskaistallisessa liittymässä. Tämä osoittaa luonnollisesti sen, että kiihdytyskaistallisessa liittymässä on mahdollista hyväksyä pienempiä päätien aikavälejä kuin liittymässä, jossa ei ole kiihdytyskaistaa.

Taulukko 14. Kahden päätien ajoneuvon väliin liittyneiden ramppiajoneuvojen hyväksymien nettoaikavälien keskiarvot ja keskihajonnat kohteittain sekä aikaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ramppiajoneuvoista hyväksyi. Mukana ovat tapaukset, joissa hyväksytty nettoaikaväli on ≤ 10 sekuntia.

Tutkimuskohde	Kiihdytyskaistan pituus (m)	Keskiarvo (s)	Keskihajonta (s)	15 %:n hyväksymä (s)	Havaintojen lukumäärä	Päätien liikennemäärä keskimäärin (ajon/h)
Kt 51/ kt 50 Hankoon	-	6,0	2,3	3,1	142	710
Vt 8 / vt 12 Poriin	-	8,3	1,3	-	9	150
Vt 8 / vt 12 Turkuun	-	8,6	0,5	-	2	140
Vt 2 / vt 25 Hankoon	-	7,1	2,0	4,7	33	230
Kt 50 / mt 1130 itään	232	4,1	2,3	1,8	254	510
Kt 50 / Mynttiläntie itään	160	4,7	2,4	2,1	98	830
Kt 50 / Mynttiläntie länteen	107	5,4	3,0	2,2	17	650
Vt 2 / mt 133 Helsinkiin	207	6,4	2,3	3,5	29	150
Vt 2 / mt 133 Forssaan	181	5,9	2,3	3,2	25	270
Vt 8 / mt 2052 Poriin	255	5,4	2,0	-	6	170
Vt 8 / mt 2052 Turkuun	260	4,7	2,8	-	5	100

Kiihdytyskaistan pituuden vaikutusta hyväksyttyihin nettoaikaväleihin on käsitelty luvussa 3.4.4. Tuloksista havaittiin, että vapaiden ajoneuvojen hyväksymien päätien nettoaikavälien keskiarvo ja aikaväli, jonka mittaisen tai jota pienemmän 15 % ajoneuvoista hyväksyi, olivat hieman pienemmät liittymässä, jossa kiihdytyskaistan pituus on 232 metriä kuin liittymässä, jossa kiihdytyskaistan pituus on 160 metriä. Erot saattavat johtua siitä, että liittymässä, jossa kiihdytyskaista on pitkä, ramppiajoneuvon ja päätien ajoneuvon välinen nopeusero on pienempi kuin liittymässä, jossa kiihdytyskaista on lyhyt ja siten myös pieniä päätien aikavälejä on mahdollista käyttää liittymiseen. Tämän suuntaisia tuloksia kiihdytyskaistan pituuden ja nopeuseron vaikutuk-

sesta hyväksyttyihin aikaväleihin on saatu tanskalaisessa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin liittymistä moottoritielle (Nielsen ja Rysgaard 1995).

3.5.3 Viivytyks liittymässä

Taulukossa 15 on esitetty HCM 2000:n mukaan yhtälöllä (4) lasketut sekä videokuvauksista määritetyt ramppiajoneuvojen viivytykset kiihdytyskaistattomissa liittymissä. *Taulukkoon 16* on puolestaan laskettu HCM 2000:n mukaan, kuinka suuret viivytykset ramppiajoneuvoille olisi kiihdytyskaistallisissa liittymissä aiheutunut videokuvausten aikana, jos kiihdytyskaistaa ei olisi ollut. Oletetun kiihdytyskaistattoman liittymän välityskyky on määritetty samalla tavalla kuin kiihdytyskaistattomien tutkimuskohteiden välityskyky. Taulukkoihin on myös laskettu, kuinka monta minuuttia viivytykset yhteensä olivat tai olisivat ilman kiihdytyskaistaa olleet kuvaustuntia kohti laskettuna. HCM 2000:n mukaan viivytykset laskettiin vain niiden aikajaksojen osalta, joiden aikana kuormitusaste oli korkeintaan 0,9, sillä laskentamenetelmä ei sovellu käytettäväksi tätä suuremmilla kuormitusasteilla.

Taulukosta 15 nähdään, että suurin hyöty kiihdytyskaistasta olisi kt 51 / kt 50 -liittymässä, jossa ramppiajoneuvojen keskimääräinen viivytyks on videokuvausten perusteella noin 16 s/ajon. Verrattaessa niitä aikajaksoja, joiden aikana kuormitusaste oli korkeintaan 0,9, huomataan, että HCM 2000 antaa noin kaksinkertaisen keskimääräisen viivytyksen videokuvauksiin verrattuna. Tämä johtuu ainakin osittain siitä, että liittymän toiminta muuttui "vetoketjumaiseksi" päätien nopeustason laskettua alhaiseksi. Muissa kiihdytyskaistattomissa liittymissä HCM 2000:n mukaan lasketut ja videokuvauksista havaitut viivytykset ovat samaa suuruusluokkaa. Keskimääräinen viivytyks on näissä kohteissa melko pieni, eikä kiihdytyskaistasta olisi yhtä suurta hyötyä kuin kt 51 / kt 50 -liittymässä.

Tuntia kohti laskettuna aikahävikki oli videokuvausten perusteella kiihdytyskaistattomista liittymistä suurin kt 51 / kt 50 -liittymässä, hieman yli 1,5 tuntia jokaista kuvaustuntia kohti. Muissa kiihdytyskaistattomissa liittymissä hukattiin aikaa videokuvausten perusteella 7–16 minuuttia kuvaustuntia kohti.

Niistä kohteista, joissa kiihdytyskaista on, siitä on eniten hyötyä kt 50 / mt 1130 -liittymässä. Ramppiajoneuvojen keskimääräinen viivytyks olisi ollut videokuvausten aikana ilman kiihdytyskaistaa noin 13 s/ajon. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että kolmen aikajakson aikana kuormitusaste ylitti 0,9, jolloin HCM 2000:n laskentamenetelmää ei voinut soveltaa. Muissa kuin kantatie 50:n liittymissä keskimääräinen viivytyks olisi ilman kiihdytyskaistaa-kin ollut melko pieni, alle 4 s/ajon.

Kuvaustuntia kohti laskettuna suurin hyöty kiihdytyskaistasta oli kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä, jossa aikahävikki olisi ollut ilman kiihdytyskaistaa HCM 2000:n mukaan laskien hieman yli 1,5 tuntia jokaista kuvaustuntia kohti. Muissa kiihdytyskaistallisissa kohteissa aikahävikki olisi ollut 1–14 minuuttia kuvaustuntia kohti.

Taulukko 15. *Ramppiajoneuvojen keskimääräinen viivytys ja sen vaihteluväli 5 minuutin jaksoissa kiihdytyskaistattomissa kohteissa videokuvausten perusteella. Vastaavat arvot laskettu HCM 2000:n mukaan videokuvausten liikennemäärillä niistä aikajaksoista, joissa kuormitusaste on korkeintaan 0,9 (arvo ylittyi kt 51 / kt 50 Hankoon -liittymässä 28 aikajaksossa).*

Tutkimuskohde		Viivytys keskimäärin ja vaihteluväli 5 min jaksoissa (s/ajon)		Viivytykset liittymässä yhteensä (min/h)		Liikennemäärä keskimäärin ja vaihteluväli 5 min jaksoissa videokuvauksissa (ajon/h)	
		HCM	Kuvaus	HCM	Kuvaus	Päätie	Ramppi
Kt 51/ kt 50 Hankoon	Aikajaksot, joissa kuormitusaste $\leq 0,9$	14,1 (6,1–38,4)	7,8 (2,3–20,4)	62,9	34,9	680 (460–1210)	270 (130–430)
	Kaikki aikajaksot	-	15,7 (2,3–40,2)	-	96,6	850 (460–1310)	370 (130–710)
Vt 8 / vt 12 Poriin		4,3 (3,0–6,2)	3,0 (0,0–13,2)	22,7	16,0	150 (60–240)	320 (180–500)
Vt 8 / vt 12 Turkuun		3,3 (2,8–3,9)	3,6 (0,0–25,8)	6,4	7,0	140 (50–250)	120 (20–200)
Vt 2 / Vt 25 Hankoon		4,1 (3,0–6,3)	5,6 (0,0–19,2)	10,5	14,2	230 (80–460)	150 (50–290)

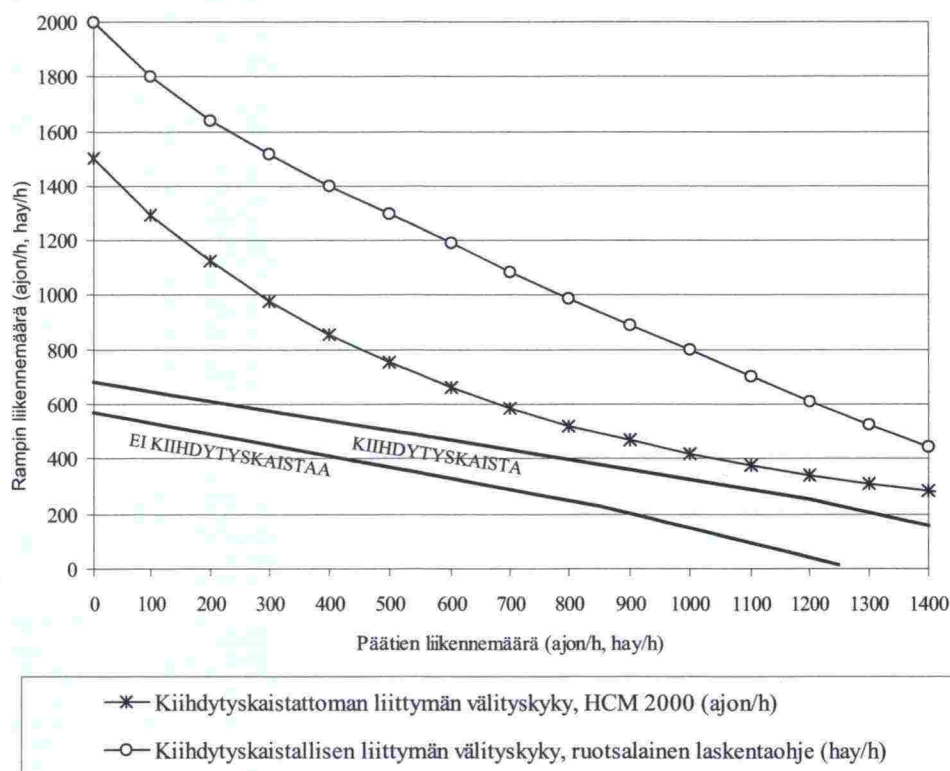
Taulukko 16. *Ramppiajoneuvoille aiheutuva keskimääräinen viivytys ja sen vaihteluväli 5 minuutin aikajaksoissa kiihdytyskaistallisissa kohteissa, jos kiihdytyskaistaa ei olisi. Viivytykset laskettu HCM 2000:n mukaan videokuvausten liikennemäärillä. Mukana ne aikajaksot, joissa kuormitusaste oli korkeintaan 0,9 (arvo ylittyi kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä 3 aikajaksossa).*

Tutkimuskohde	Jos kiihdytyskaistaa ei olisi		Liikennemäärä keskimäärin ja vaihteluväli 5 min jaksoissa videokuvauksissa (ajon/h)	
	Viivytys keskimäärin ja vaihteluväli 5 min jaksoissa (s/ajon)	Viivytykset liittymässä yhteensä (min/h)	Päätie	Ramppi
Kt 50 / mt 1130 itään	12,7 (5,1–21,4)	94,0	470 (200–680)	440 (280–640)
Kt 50 / Mynttiläntie itään	10,3 (3,7–19,0)	14,4	830 (280–1360)	90 (20–160)
Kt 50 / Mynttiläntie länteen	6,2 (4,0–8,6)	1,0	650 (350–970)	10 (0–20)
Vt 2 / mt 133 Helsinkiin	3,3 (2,7–4,9)	5,3	150 (50–370)	90 (20–250)
Vt 2 / mt 133 Forssaan	3,8 (3,1–4,9)	4,6	270 (160–430)	73 (10–140)
Vt 8 / mt 2052 Poriin	3,2 (2,5–3,9)	2,0	170 (30–310)	40 (0–80)
Vt 8 / mt 2052 Turkuun	3,2 (2,6–4,8)	4,6	100 (20–360)	90 (20–260)

3.5.4 Kiihdytyskaistan tarve Sainion tutkimukseen perustuen

Kuvaan 18 on piirretty Sainion tutkimuksessa esitetty suositus siitä, millä päätien ja rampin liikennemäärillä liittymään tulisi rakentaa kiihdytyskaista, kun päätie on kaksikaistainen moottoriliikennetie (Sainio 1984). Suosituksen mukaan kiihdytyskaista tulisi rakentaa, kun liikennemäärät ovat kuvassa esitetyn kiihdytyskaistaa vastaavan käyrän ja kiihdytyskaistattoman käyrän välisellä alueella. Kun liikennemäärät ovat kiihdytyskaistaa vastaavan käyrän yläpuolella, suositellaan liittymä rakennettavaksi samalla periaatteella kuin moottoritien eritasoliittymä ja päätien poikkileikkaus samoin kuin moottoritiellä.

Kuvassa 18 on myös HCM 2000:n mukaan määritetty kiihdytyskaistattoman liittymän välityskykykäyrä ja ruotsalaisen laskentamenetelmän mukaan määritetty kiihdytyskaistallisen liittymän välityskykykäyrä.



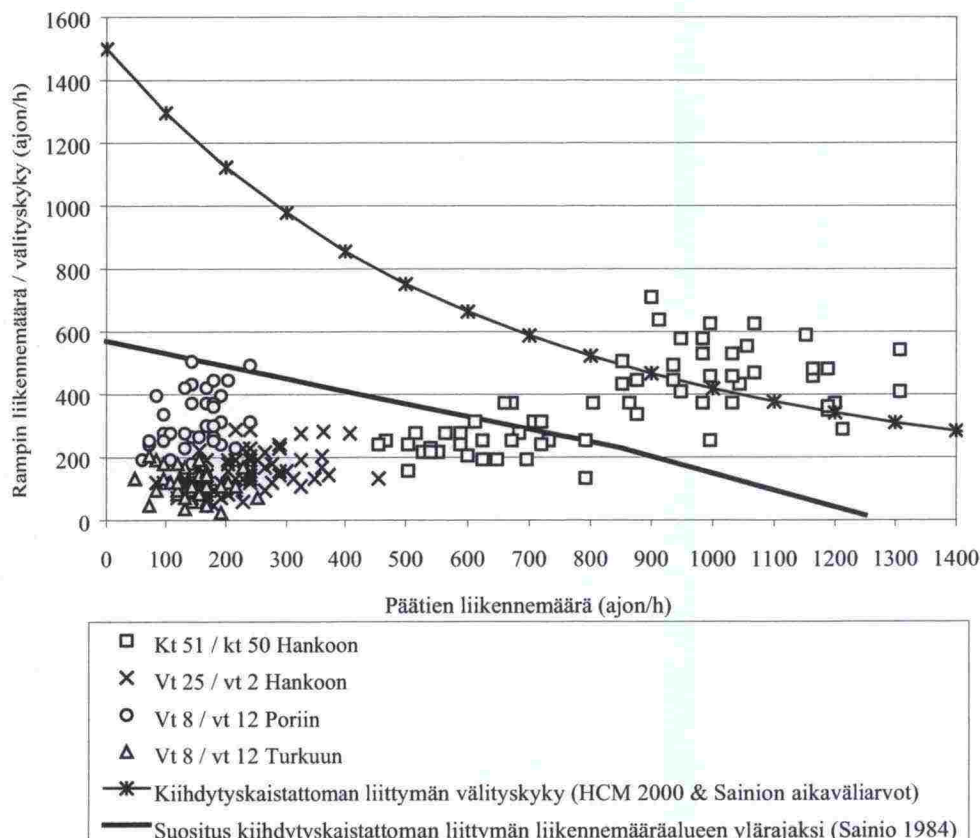
Kuva 18. Kiihdytyskaistallisen ja -kaistattoman liittymän välityskykykäyrät sekä Sainion tutkimuksen (Sainio 1984) liikennemääräalueet, joilla kiihdytyskaistaton ja kiihdytyskaistallinen liittymä toimivat sujuvasti.

Sainion tutkimuksessa esitetty liikennemääräalue, jolla liittymä toimii sujuvasti ilman kiihdytyskaistaa, perustuu rajoituksiin, joita on asetettu jononpituudelle sekä päätien ajoneuvoille aiheutuville häiriöille. Keskimääräinen jonotusaika sivusuunnalla on rajoitettu arvoon 30 s (maksimijonotusaika 110 s) ja kuormitusaste arvoon 0,4 (maksimijononpituus 8–9 ajon). Sainion tutkimuksen mukaan sivusuunnan kriittisen aikavälin tulee olla yli 12 sekuntia, mikäli on edellytyksenä, että rampilta tulevat ajoneuvot eivät saa häiritä päätien liikennettä. Kun päätien ja sivutien liikennemäärät ovat Sainion esittä-

mällä liikennemääräalueella, sivusuunnan ajoneuvoilla on käytössään keskimäärin yli 12 sekunnin aikavälejä. Kiihdytyskaistallisen liittymän toimivuusalue perustuu Sainion tutkimuksessa samanlaisiin kuormitusasteelle ja joutumiselle asetettuihin rajoituksiin kuin edellä esitetty kiihdytyskaistattoman liittymän toimivuusalue.

Sainion tutkimuksessa esitetyt päätien ja rampin liikennemäärät, joilla kiihdytyskaistaton tai kiihdytyskaistallinen liittymä toimii sujuvasti, ovat huomattavasti alhaisemmat kuin kuvassa esitetyt välityskykyliikennemäärät. Suositus on tarkoitettu kaksikaistaisille moottoriliikenneteille, joilla nopeakäyttö on 100 km/h. Osa suosituksen perusteena olevasta tutkimuksesta oli kuitenkin tehty perusverkolla, jossa päätien nopeakäyttö oli 80/100 km/h.

Tämän tutkimuksen kiihdytyskaistattomista maastomittauskohteista välityskyky ylittyi videokuvausten aikana yhdessä, kt 51 / kt 50 -Hankoon liittymässä. Muissa liittymissä kuormitusaste oli alle 0,50 ja liikennemäärät olivat Sainion määrittämällä kiihdytyskaistattomalle liittymälle sopivalla liikennemääräalueella lukuunottamatta yhtä 5 minuutin jaksoa vt 8 / vt 12 -liittymässä (kuva 19).

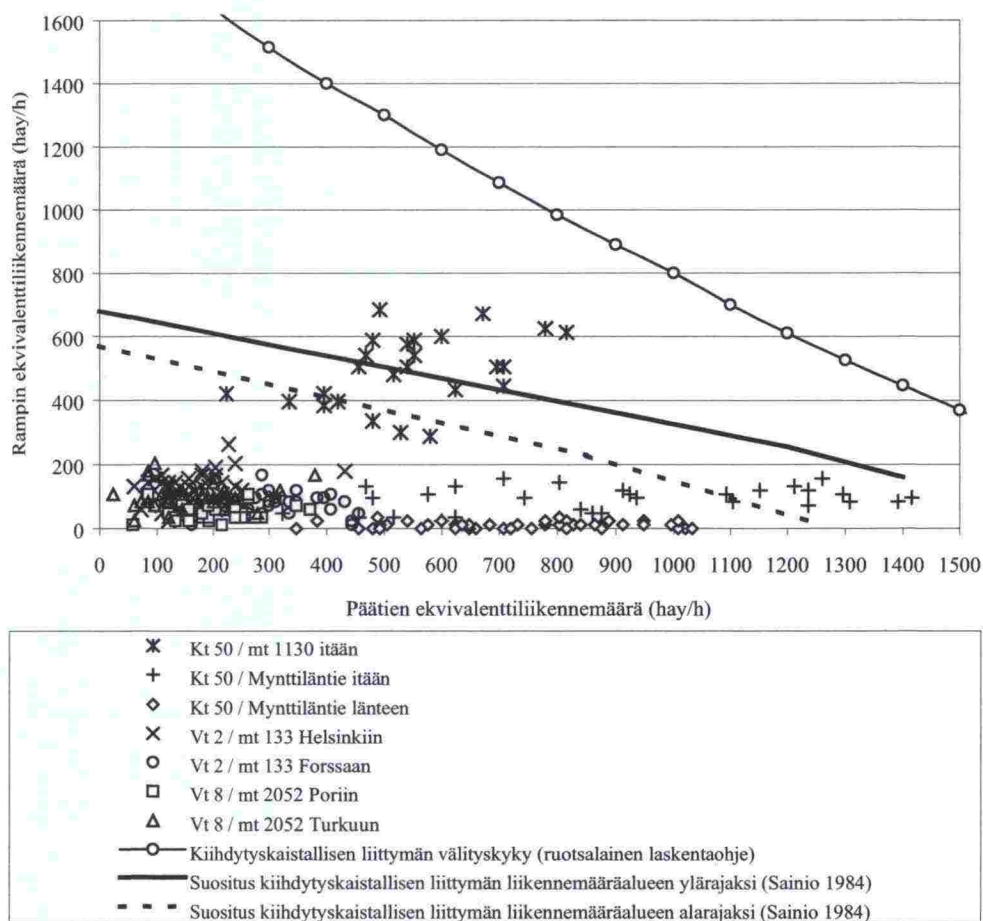


Kuva 19. Päätien ja rampin liikennemäärät 5 minuutin jaksoissa kiihdytyskaistattomissa tutkimuskohteissa sekä kiihdytyskaistattoman liittymän välityskyky ja suositeltua liikennemääräaluetta kuvaavat käyrät.

Niissä 5 minuutin mittausjaksoissa, jotka ovat Sainion tutkimuksessa määritetyllä kiihdytyskaistattoman liittymän alueella, ramppiajoneuvojen keskimää-

räinen viivytys on videokuvausten perusteella 0–26 s/ajon. Keskimääräiset viivytykset jäivät alle 30 sekunnin, mikä oli yksi suosituksen kriteeri kiihdytyskaistattomalle liittymälle sopivasta liikennemääräalueesta. Suositellun liikennemääräalueen yläpuolella, mutta välityskykykäyrän alapuolella olevissa 5 minuutin jaksoissa keskimääräinen viivytys on videokuvausten perusteella 5–30 s/ajon ja välityskyvyn ylittävissä 5 minuutin jaksoissa 9–40 s/ajon. HCM 2000:n mukaan lasketut keskimääräiset viivytykset ovat kiihdytyskaistan suositusalueella 3–13 s/ajon. Suositusalueen ja välityskykykäyrän välissä, kuormitusasteen ollessa korkeintaan 0,9, viivytykset ovat HCM 2000:n mukaan 6–31 s/ajon.

Kiihdytyskaistallisissa tutkimuskohteissa liittymän välityskyky ei ylittynyt. Sainion määrittelemä kiihdytyskaistallisten liittymien suositusalueen yläraja ylitettiin kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä (kuva 20). Kaikissa muissa paitsi kt 50 idän suunnan liittymissä liikennemäärät olivat videokuvausten aikana Sainion tutkimuksessa esitetyllä liikennemääräalueella, jolla liittymä toimii sujuvasti ilman kiihdytyskaistaakin.



Kuva 20. Päätien ja rampin liikennemäärät 5 minuutin jaksoissa kiihdytyskaistallisissa tutkimuskohteissa sekä kiihdytyskaistallisen liittymän välityskyky ja suositeltua liikennemääräaluetta kuvaavat käyrät.

3.5.5 Kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuus

Tässä luvussa tarkastellaan kiihdytyskaistan rakentamisen kannattavuutta, kun huomioon otetaan huipputuntien aikaisten viivytysten aika-, ajoneuvo- ja päästökustannukset sekä vuosittaiset henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien kustannukset. Kiihdytyskaistan rakentaminen on oletettu kannattavaksi, mikäli ensimmäisen vuoden tuottoaste on 10 % investointikustannuksista. Tuloksena on esitetty laskennalliset huipputuntiliikennemäärät, joilla kiihdytyskaistan rakentaminen on kannattavaa. Lisäksi kiihdytyskaistan rakentamista on tarkasteltu 5 %:n tuottoasteella.

Tarkastelussa kiihdytyskaistattoman liittymän välityskyky on laskettu HCM 2000:n mukaan *yhtälöllä (1)* käyttäen Sainion tutkimuksessa määritettyjä lähtöaikavälin ja kriittisen aikavälin arvoja olettaen, että rampilla raskaiden ajoneuvojen osuus on 10 % (Sainio 1984). Ramppiajoneuvoille kiihdytyskaistattomassa liittymässä aiheutuva keskimääräinen viivytys on laskettu HCM 2000:n mukaan *yhtälöllä (4)* (HCM 2000). Viivytyslaskelmissa on oletettu, että huipputunnin liikennemäärä on määritetty 15 minuutin aikajaksoista.

Kiihdytyskaistan ansiosta säästyneen ajan arvo on määritetty Tiehallinnon ohjeiden mukaan (Tiehallinto 2001b). Ajan arvoksi saadaan 12,63 €/h (75,09 mk/h), kun raskaiden ajoneuvojen osuudeksi valitaan 10 %. Laskelmissa on oletettu, että kiihdytyskaistan rakentamisen jälkeen kaikki rampilta tulevat ajoneuvot pääsevät liittymään päätielle viivytyksettä.

Ajoneuvo- ja päästökustannusten laskennassa käytettiin VEMOSIM-ohjelmaa. VEMOSIMin avulla mallinnettiin kiihdytyskaistattoman ja kiihdytyskaistallisen liittymän läpi ajava kevyt ja raskas ajoneuvo eri tilanteissa. Malleissa päätien nopeusrajoitus oli 80 km/h ja liittymät sijaitsivat tasaisessa maastossa. Kiihdytyskaistattoman liittymän mallina oli tavanomainen suuntaisliittymä, kiihdytyskaistallisessa mallissa kiihdytyskaistan pituus oli loppukiiloineen 205 metriä. Kaikissa vaihtoehdoissa mallinnus alkoi 60 metrin pituisella suoralla ramppiosuudella ennen rampin nokkapisteettä. Ajoneuvojen nopeuden oletettiin kaikissa tilanteissa olevan suoran alussa 40 km/h. Mallinnus päättyi sille etäisyydelle, jolla ajoneuvojen nopeus oli kaikissa vaihtoehdoissa kiihtynyt 80 km/h:iin. Kiihdytyskaistattomassa liittymässä tarkasteltiin kahta vaihtoehtoa: 1) ramppiajoneuvo joutuu pysähtymään liittymässä, jolloin nopeus rampin nokkapisteessä on 0 km/h ja 2) ramppiajoneuvo ei joudu pysähtymään, jolloin nopeus on 20 km/h.

VEMOSIM-mallinnuksessa ajoneuvokustannukset koostuvat seuraavista tekijöistä: poltto- ja voiteluaineet, renkaat sekä ajoneuvon korjaus ja ylläpito. Päästökustannuksessa ovat mukana typen oksidit (NO_x), hiilimonoksidi (CO), hiilivety (HC), partikkelit (PM) ja hiilidioksidi (CO₂). Ohjelmassa käytettävät yksikköhinnat vastaavat vuoden 2002 hintatasoa.

VEMOSIMin mukaiset ajoneuvo- ja päästökustannukset laskettiin olettaen, että raskaiden ajoneuvojen osuus on rampilla 10 %. Kiihdytyskaistattomassa liittymässä pysähtymään joutuvien ramppiajoneuvojen osuus laskettiin *yhtälöllä (5)*. Yhtälö perustuu oletukseen, että päätien liikennevirran aikavälit ovat

jakautuneet negatiivisen eksponentiaalijakauman mukaisesti (Sainio 1984). Liittymän välityskyky ja sivusuunnan kriittinen aikaväli määritettiin luvun alussa kerrotulla tavalla.

$$p_s = 1 - (1 - B) * e^{-kq_p} \quad (5)$$

jossa p_s = sivusuunnalla pysähtymään joutuvien osuus
 B = sivusuunnan kuormitusaste
 k = sivusuunnan kriittinen aikaväli (s)
 q_p = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h).

VEMOSIM mallintaa yksittäisen ajoneuvon kulkua, joten sen avulla ei ollut mahdollista ottaa huomioon muun liikenteen vaikutuksia. Mallinnus vastaa tilannetta, jossa ajoneuvo ajaa liittymän läpi pysähtyen tai pysähtymättä eri nopeuksilla. Ne ajoneuvo- ja päästökustannukset, jotka aiheutuvat rampilla jonottamisesta ja jonon ensimmäisenä odottamisesta, eivät siten ole mukana.

Henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien (hvj) kustannusten laskenta perustui vuonna 1999 tehtyyn Tielaitoksen selvitykseen, jonka mukaan perusverkon kaksiramppisissa eritasoliittymissä tapahtuu keskimäärin 0,07 hvj-onnettomuutta vuodessa miljoonaa liittymään saapuvaa ajoneuvoa kohti (Tielaitos 1999). TARVA-ohjelmiston mukaan kiihdytyskaista vähentää hvj-onnettomuuksia 10 % (Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Simsoft Oy 2002). Hvj-onnettomuuden kustannus on Tiehallinnon ohjeen mukaan (Tiehallinto 2001b) noin 387 000 € (2,3 Mmk). Kun tarkastellaan yhtä tulosuuntaa, säästö onnettomuuskustannuksissa kiihdytyskaistan ansiosta on siten noin 1 350 € vuodessa miljoonaa tulosuunnalle saapuvaa ajoneuvoa kohti. Tulosuunnan ajoneuvojen lukumäärä vuoden aikana laskettiin olettaen, että huipputuntiliikennemäärä on 10 % keskivuorokausiliikennemäärästä ja vuossittainen ajoneuvojen lukumäärä on 365*keskivuorokausiliikennemäärä.

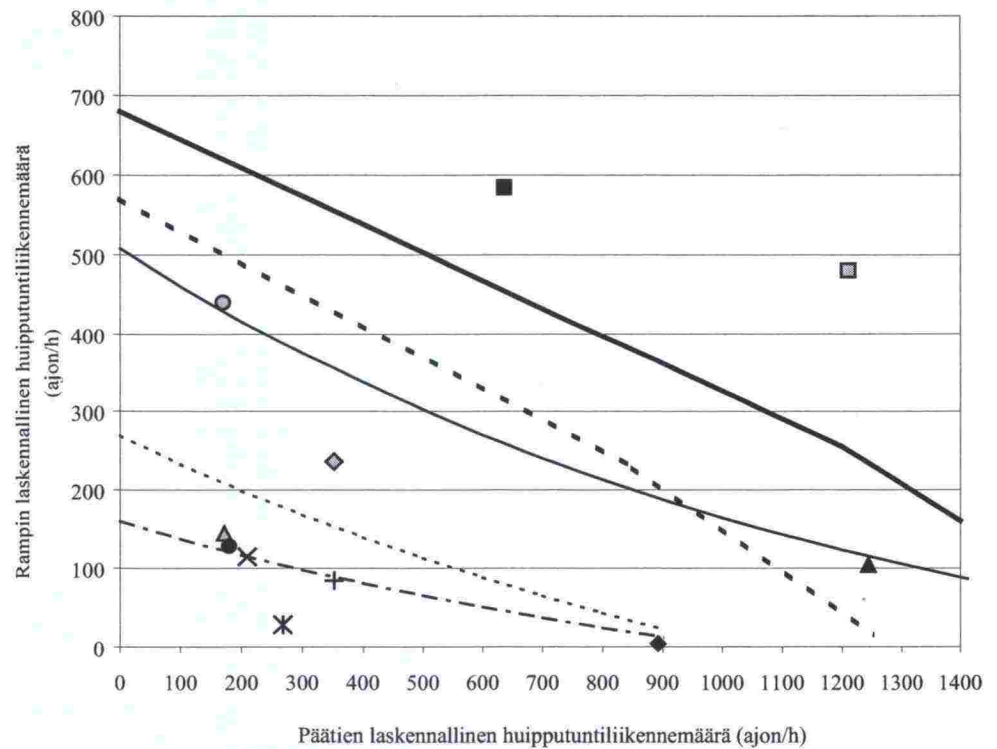
Kiihdytyskaistan rakentamiskustannuksiksi on laskelmissa oletettu noin 100 000 euroa (600 000 mk). Summa vastaa Tiehallinnon antamien tietojen mukaan kokonaispituudeltaan 205 metrin mittaisen kiihdytyskaistan (kiila 75 m, kaista 130 m) rakennekustannuksia nopeusrajoituksen ollessa 80 km/h ja rampin kokonaispituuden 500 metriä. Huomattava on, että summassa eivät ole mukana mahdolliset kallioleikkauksista ja pohjavahvistuksista aiheutuvat lisäkustannukset, jotka vaihtelevat kohteittain.

Kuvassa 21 on esitetty päätien ja rampin laskennalliset huipputuntiliikennemäärät, joilla kiihdytyskaistan ansiosta säästetään 10 000 / 5 000 euroa vuosittain ramppiajoneuvojen aika-, ajoneuvo-, päästö- ja onnettomuuskustannuksissa. Laskelmissa oletetaan, että tarkastelusuunnassa on joka arki- vuorokausi yksi tai kaksi huipputuntiliikenteen mukaista tuntia, eli 260 tai 520 huipputuntia vuodessa (arkipyhiä ei vähennetty). Kuvaan on piirretty myös videokuvausten aikana havaitut vilkkaimman 15 minuutin liikennemäärät tutkimuskohteittain tuntiliikennemääräksi muutettuina. Vilkkain 15 minuuttia valittiin päätien ja rampin yhteenlasketun liikennemäärän perusteella. Lisäksi kuvaan on merkitty Sainion tutkimuksessa esitetty liikennemääräalue, jolla kiihdytyskaistallinen liittymä toimii sujuvasti (Sainio 1984).

Kiihdytyskaistan rakentaminen on kannattavaa edellä esitettyjen säästöjen perusteella, mikäli päätien ja rampin liikennemäärät ovat tarkastelusuunnassa huipputunnin aikana vähintään kuvan 21 10 000 € säästöjä osoittavalla käyrällä. Jos päätien huipputuntiliikennemäärä on tarkastelusuuntaan esimerkiksi 500 ajon/h ja joka arkivuorokausi on yksi tällainen tunti, täytyy rampin huipputuntiliikennemäärän samanaikaisesti olla vähintään 300 ajon/h, jotta kiihdytyskaistan rakentaminen olisi kannattavaa. Jos päätien huipputuntiliikennemäärä on 1 000 ajon/h, kiihdytyskaistan rakentaminen on kannattavaa rampin huipputuntiliikennemäärällä 160 ajon/h. Kun päätien liikennemäärä on huipputunnin aikana korkeintaan 1 000 ajon/h, kiihdytyskaistan rakentaminen on kannattavaa hieman pienemmällä rampin liikennemäärällä kuin Sainion tutkimuksessa on suositeltu kiihdytyskaistalliselle liittymälle sopivaksi rampin liikennemääräalueen alarajaksi (Sainio 1984). Päätien liikennemäärällä yli 1 000 ajon/h kannattavuuskäyrä kulkee Sainion suosittelella liikennemääräalueella.

Kiihdytyskaistattomista tutkimuskohteista kt 51 / kt 50 -liittymässä Hangon suuntaan ja vt 8 / vt 12 -liittymässä Porin suuntaan liikennemäärät olivat videokuvausten aikana niin suuret, että kiihdytyskaistan rakentaminen olisi kannattavaa. Huomattava kuitenkin on, että kt 51 / kt 50 -liittymässä videokuvaus tehtiin perjantaina, joten kuvassa olevan vilkkaimman 15 minuutin mukaista tuntiliikennemäärää ei todennäköisesti saavuteta joka arkipäivä. Lisäksi kuvaa tarkastellessa täytyy huomioda, että kannattavuuslaskelmat perustuvat 100 000 € rakentamiskustannuksiin. Vt 8 / vt 12 -liittymässä kiihdytyskaistan rakentaminen edellyttäisi risteyssillan leventämistä, jota rakentamiskustannuksissa ei ole otettu huomioon. Muissa kiihdytyskaistattomissa kohteissa liikennemäärät jäivät videokuvausten aikana 10 000 € säästöjä (1 huippuh/vrk) osoittavan käyrän alapuolelle. Kiihdytyskaistallisissa tutkimuskohteissa liikennemäärät olivat videokuvausten aikana kt 50 / mt 1130 itään -liittymää lukuunottamatta 10 000 € säästöjä (1 huippuh/vrk) osoittavan käyrän alapuolella.

Kiihdytyskaistan rakentaminen aiheuttaa säästöjä rampilta tuleville ajoneuvoille luonnollisesti muulloinkin kuin huipputunnin aikana. Kaikkien tuntien säästöjen laskemiseen tarvitaan tietoja myös vähäliikenteisen ajan liikennemäärästä, mutta niin yksityiskohtaista tarkastelua ei tässä yhteydessä katsottu tarpeelliseksi. Tarkoituksena oli lähinnä helppokäyttöisellä tavalla osoittaa, mitä suuruusluokkaa liittymän liikennemäärien tulisi olla, jotta ramppiajoneuvojen säästöt olisivat kiihdytyskaistan rakentamisen jälkeen merkittäviä. Lisäksi täytyy huomioda, että kiihdytyskaistan rakentamiskustannukset voivat sillanrakennus- ja pohjanvahvistuskustannusten ym. vuoksi olla huomattavastikin korkeammat kuin tässä laskelmassa käytetty 100 000 €.



■	Kt 51 / kt 50 Hankoon perjantai klo 15.15-15.30	} Ei kiihdytys- kaistaa
●	Vt 8 / vt 12 Poriin torstai klo 16.00-16.15	
▲	Vt 8 / vt 12 Turkuun torstai klo 15.45-16.00	
◆	Vt 25 / vt 2 Hankoon torstai klo 16.00-16.15	
—	Säästöt huipputuntien aikana 10 000 €v (1 huippuh/arkivrk)	} On kiihdytys- kaista
---	Säästöt huipputuntien aikana 5 000 €v (1 huippuh/arkivrk) tai 10 000 €v (2 huippuh/arkivrk)	
- - -	Säästöt huipputuntien aikana 5 000 €v (2 huippuh/arkivrk)	
■	Kt 50 / mt 1130 itään torstai klo 07.45-08.00	} On kiihdytys- kaista
▲	Kt 50 / Mynttiläntie itään torstai klo 07.45-08.00	
◆	Kt 50 / Mynttiläntie länteen torstai klo 07.45-08.00	
●	Vt 2 / mt 133 Helsinkiin torstai klo 15.30-15.45	
+	Vt 2 / mt 133 Forssaan torstai klo 16.15-16.30	
✱	Vt 8 / mt 2052 Poriin perjantai klo 08.45-09.00	
✕	Vt 8 / mt 2052 Turkuun perjantai klo 07.30-07.45	
—	Kiihdytyskaistallisen liittymän liikennemääräalueen ylärajasuositus (Sainio 1984)	
- - -	Kiihdytyskaistallisen liittymän liikennemääräalueen alarajasuositus (Sainio 1984)	

Kuva 21. Päätien ja rampin huipputuntiliikennemäärät, joilla ajokustannus-säästöt ovat kiihdytyskaistan ansiosta 10 000 / 5 000 € vuodessa 260 tai 520 huippuh/v perusteella, tutkimusliittymien vilkkaimman 15 minuutin perusteella lasketut tuntiliikennemäärät ja niiden ajankohta videokuvausten aikana sekä kiihdytyskaistallisen liittymän liikennemääräalue Sainion mukaan (Sainio 1984).

4 SIMULOINTITUTKIMUS

4.1 Simulointitutkimuksen tausta

Maastomittausten ohella kiihdytyskaistojen toimintaa tutkittiin simuloimalla. Simulointitutkimuksen teki tekn.yo Tero Kosonen erikoistyönään. Tämän luvun tulokset ja teksti on otettu lähes kokonaan suoraan Kososen erikoistyöstä (Kosonen T. 2001).

Simulointien avulla maastomittausten kokonaismäärää pystyttiin pienentämään ja tarkastelemaan myös sen tyyppisiä liikennetilanteita, joiden esiintyminen todellisissa liittymissä on harvinaista. Liikenteen simuloinnissa käytettiin TKK:n liikennelaboratoriossa kehitettyä HUTSIM/TMPA-ohjelmaa, joka pystyy mikrotason liikennetarkasteluihin eli simuloimaan yksittäisten ajoneuvojen kulkua (Kosonen I. 1999). Ohjelma sisälsi valmiiksi ramppiympäristön toiminnallisten suureiden tarkasteluun tarkoitettuja ominaisuuksia, mutta turvallisuustarkasteluja varten siihen oli suoritettava lisäohjelmointeja (Kosonen I. ja Ree S. 2000).

Simuloinneilla tarkasteltiin liikenteen sujuvuutta yksittäisten ajoneuvojen viivytyksiä sekä pysähdyksiä analysoimalla ja turvallisuusasioita konfliktien määrää, niiden vakavuusastetta ja onnettomuuden välttämiseksi vaadittuja hidastuvuuksia rekisteröiden. Simulointien tavoitteena oli asettaa tutkitut liittymätyypit paremmuusjärjestykseen liikenteen sujuvuuden ja turvallisuuden osalta.

4.2 Liittymätyypit simuloinneissa

4.2.1 Yleistä

Mallinnuskohteeksi valittiin liittymäalue, jossa eritasoliittymän ramppi yhtyy yksiajorataiseen päätiehen. Päätien nopeusrajoitus on 80 km/h. Liittymätyyppien vertailuun otettiin neljä erilaista liittymää:

- suuntaisliittymä pitkällä kiihdytyskaistalla
- suuntaisliittymä lyhyellä kiihdytyskaistalla
- suuntaisliittymä ilman kiihdytyskaistaa
- tulppaliittymä.

Näiden perusliittymien lisäksi pitkäkaistaista suuntaisliittymää tutkittiin myös kevytliikenteen ylityksellä varustettuna. Simuloinneilla selvitettiin lisäksi liittymäalueella olevan linja-autopysäkin sijoitusvaihtoehtojen vaikutuksia liikenteen turvallisuuteen. Simulointimalleissa päätien ajoneuvot pysyvät omalla kaistallaan, eli ohittaminen tai rampilta tulevan ajoneuvon väistäminen vastakkaisen ajosuunnan kaistaa käyttämällä ei ole mahdollista.

Kiihdytyskaistalla varustettujen suuntaisliittymien geometrisesta suunnittelusta ei ole olemassa erityistä ohjetta, minkä vuoksi niiden mallintaminen tehtiin alustavien ohjeluonnosten pohjalta. Tulppaliittymän geometria sen si-

jaan on yleinen ja vakiintunut standardi (Tiehallinto 2001a). Kaikkien eri tyyppien liittymäkulmana käytettiin 100 gon yhdenmukaisuuden ja yleistettävyyden vuoksi.

4.2.2 Pitkä kiihdytyskaista suuntaisliittymässä

Suuntaisliittymä on suuren kaarresäteen ja sitä kautta sujuvan geometrian liittymätyyppi, jota käytetään tavallisesti teillä, joiden nopeusrajoitus on 60 – 100 km/h. Se on tilantarpeeltaan laaja liittymä ja tarjoaa kuljettajille hyvät näkemäolosuhteet risteystoimintoja varten. Sekä liittymän tulo- että poistumissuunnalla käytetään kaariyhdistelmää $3R - R - 3R$ kaarresäteiden ja muiden mitoitussarvojen vaihdellessa *taulukkojen 17 ja 18* mukaisesti liittymäkulman mukaan. HUTSIM-mallinnuksen perustana olleen suuntaisliittymän luonnos on esitetty *kuvassa 23* (Tiehallinto 2001a).

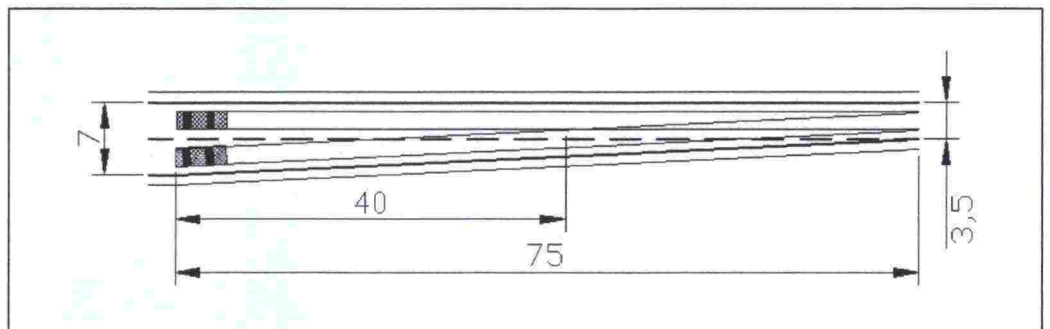
Taulukko 17. Suuntaisliittymän mitoitussuureet (Tiehallinto 2001a).

α (gon)	Tulosuunta			Poistumissuunta		
	R_1	x_1	Y_1	R_2	x_2	Y_2
90	40	$R_1 + 1,0$	$R_1 + 7,0$	50	$R_2 + 3,0$	$R_2 + 5,0$
95	40	$R_1 + 1,5$	$R_1 + 7,0$	45	$R_2 + 2,5$	$R_2 + 5,5$
100	40	$R_1 + 2,0$	$R_1 + 7,0$	40	$R_2 + 2,0$	$R_2 + 6,0$
105	45	$R_1 + 2,5$	$R_1 + 6,5$	40	$R_2 + 1,5$	$R_2 + 6,5$
110	50	$R_1 + 3,0$	$R_1 + 6,0$	40	$R_2 + 1,0$	$R_2 + 7,0$

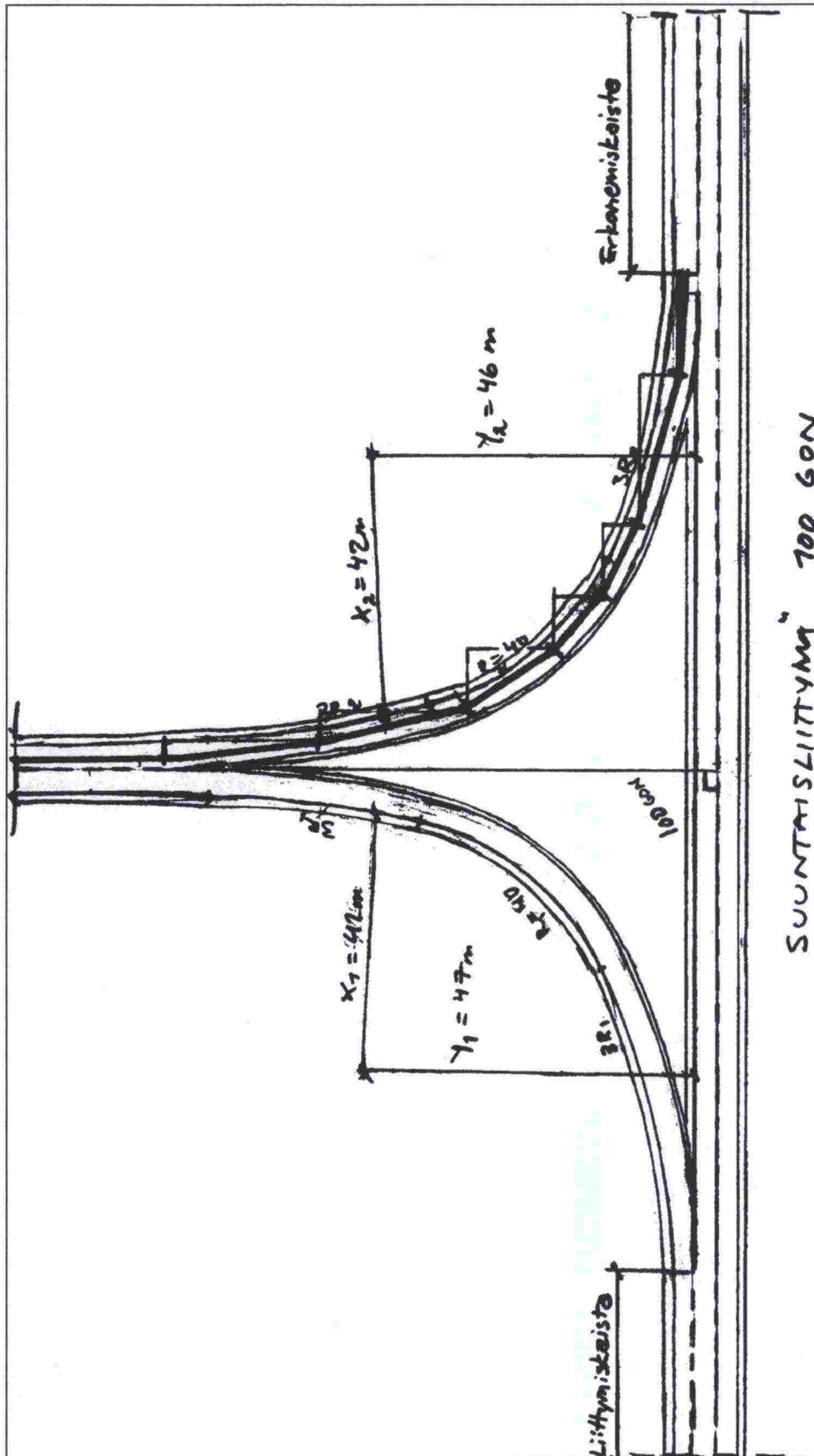
Taulukko 18. Kiihdytys- ja erkanemiskaistojen pituudet suuntaisliittymässä (Tiehallinto 2001a).

Päätien mitoitussuure nopeus (km/h)	Liittymiskaistan pituus (m)	Loppukiilan pituus (m)	Erkanemiskaistan pituus (m)	Alkukiilan pituus (m)
60	80	60	30	40
80	130	75	70	50
100	200	75	120	50

Varsinaisen liittymiskaistan pituutena käytettiin tässä tapauksessa nopeusrajoituksen mukaisesti 130 metriä ja loppukiilan pituutena 75 metriä. Loppukiiloista määritettiin tehokas kaistapituus *kuvan 22* mukaisesti.



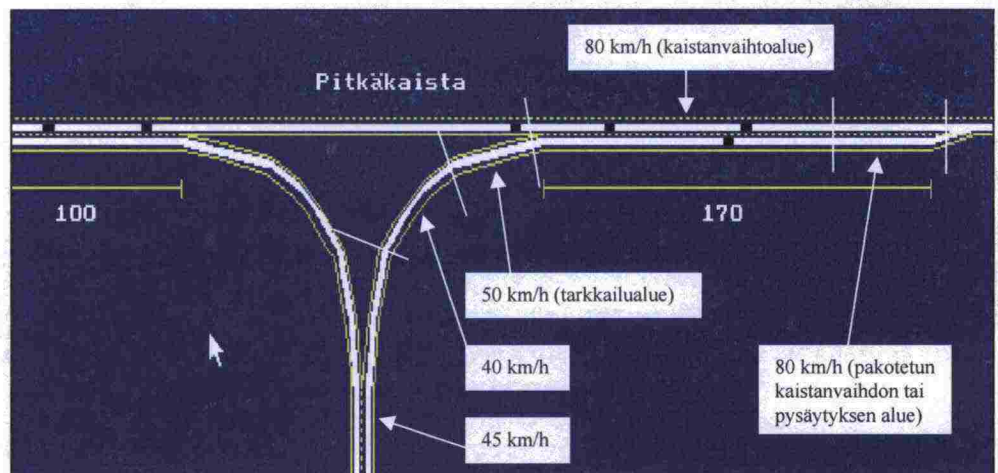
Kuva 22. Tehokkaan kaistapituuden määrittäminen loppukiilasta.



Kuva 23. Pitkällä kiihdytyskaistalla varustettu suuntaisliittymä.

Erilaisten reunaehtojen soveltuvuuden testaamisen vuoksi liittymästä rakennettiin kaksi erilaista mallia, joista toisessa ajoneuvot pakotettiin kiihdytyskaistan lopussa vaihtamaan kaistaa ja toisessa ne saivat pysähtyä kaistan päähän, jos sopivaa aikaväliä ei päävirrasta löytynyt. Kummallakin mallilla suoritettiin simulointiajot ja analysoitiin niiden tulokset, mutta turvallisuustarkasteluihin valittiin pysähtymisvaihtoehdon tarjonnut malli sen konfliktitilanteiden puolesta realistisemman ajokäyttäytymisen vuoksi.

HUTSIM:illa rakennettu malli, jolla simulointiajot tehtiin, on *esitetty kuvassa 24*. Kuvaan on merkitty myös mallissa käytettyjä eri nopeusrajoituksia ja kaistanvaihtojen toteutumiseen vaikuttaneita aluerajauksia.

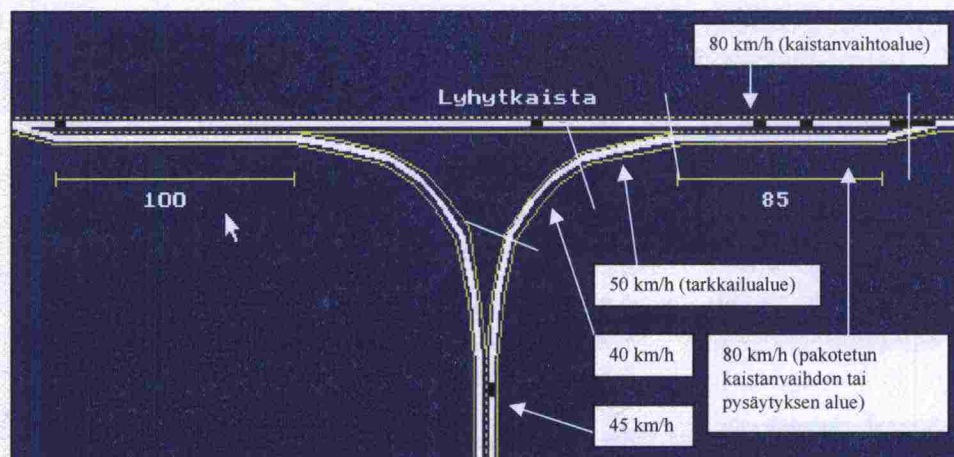


Kuva 24. Pitkällä kiihdytyskaistalla varustetun liittymän HUTSIM-malli.

4.2.3 Lyhyt kiihdytyskaista suuntaisliittymässä

Lyhytkaistainen suuntaisliittymä on geometrialtaan muuten täysin identtinen pitkäkaistaisen kanssa, mutta sen tehokas kiihdytyskaistapituus on vain 85 metriä. Liittymän mallintamisen tarkoituksena olikin vertailla kaistapituuden vaikutusta liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen muuten identtisessä liittymässä.

Liittymä mallinnettiin pitkäkaistaisen liittymän pohjalta vain kiihdytyskaistan pituutta vaihtaen. Tämän vuoksi malliin jätettiin pitkäkaistaista liittymää vastaava erkanemiskaista, sillä sen ei katsottu vaikuttavan lopputulokseen. Myös tästä liittymätyypistä tehtiin kaksi erilaista mallia, joista toisessa kaistanvaihto oli pakollista ja toisessa ei. Simuloinnissa käytetty malli ja sen tärkeimmät parametrit on esitetty *kuvassa 25*.



Kuva 25. Lyhyellä kiihdytyskaistalla varustetun liittymän HUTSIM-malli.

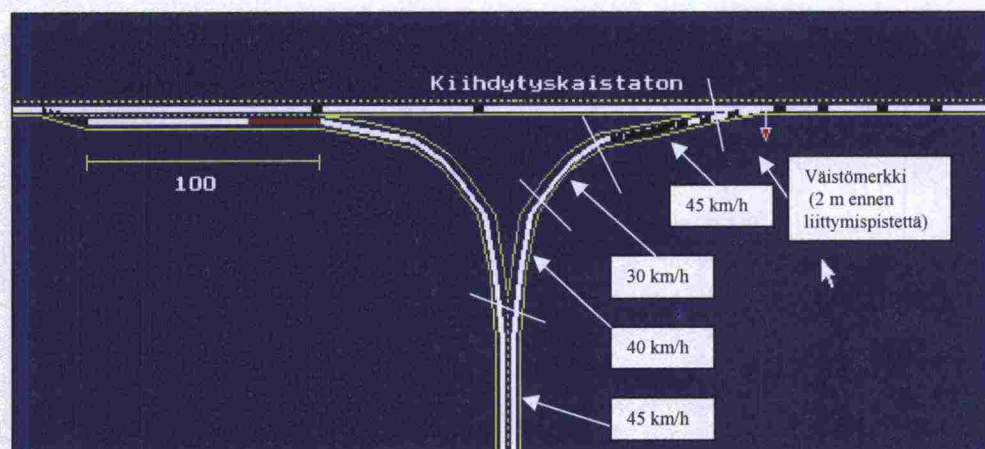
4.2.4 Kiihdytyskaistaton suuntaisliittymä

Kiihdytyskaistattomassa suuntaisliittymässä rampin kaarresäde on pienempi kuin liittymässä, jossa on kiihdytyskaista. Pieni kaarresäde estää kuljettajia saapumasta liittymään liian suurella nopeudella. Simuloinneissa käytettiin kaarresäteeltään samanlaista liittymätyyppiä kuin kuvassa 27, joka esittää kevytliikenteen ylityksellä varustettua suuntaisliittymää.

Väistämisvelvollisuus liittymässä toteutetaan HUTSIMissä määrittämällä väistämään joutuville ajoneuvoille pienimpiä aikavälejä päävirrasta, joilla ne voivat suorittaa liittymistoimenpiteensä. Simuloinneissa käytetty väistävien ajoneuvojen hyväksymien aikavälien jakauma on esitetty taulukossa 19 ja malli tärkeimpine ominaisuuksineen kuvassa 26.

Taulukko 19. Väistävien ajoneuvojen hyväksymien aikavälien jakauma (Sane ja Kosonen I. 1996). Aikaväluokassa alaraja kuuluu luokkaan.

Aikaväli (s)	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5
Osuus (%)	5	20	50	20	5



Kuva 26. Kiihdytyskaistattoman liittymän HUTSIM-malli.

4.2.5 Rampin ylittävä suojatie suuntaisliittymässä

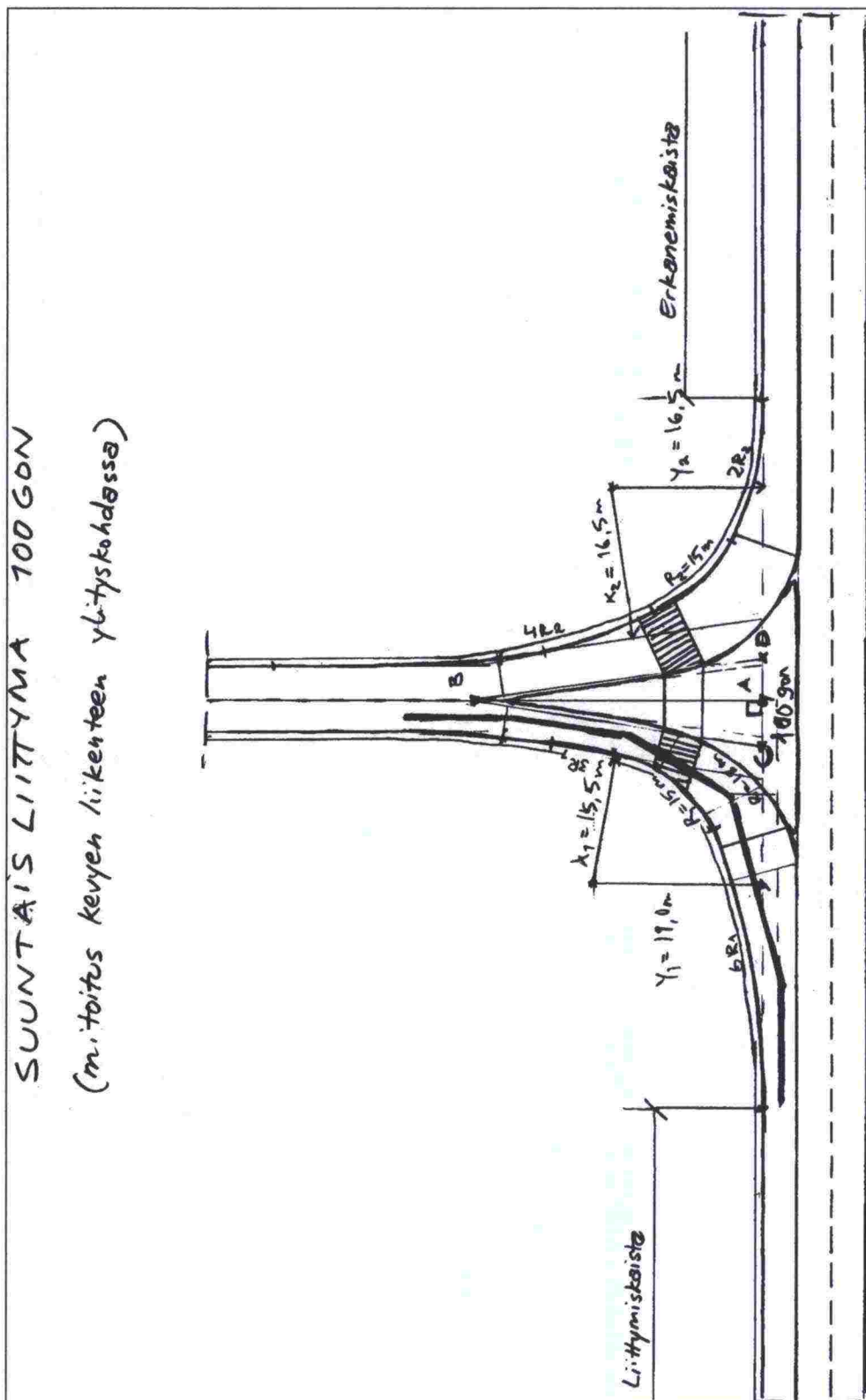
Kevytiliikenteen ylityksellä varustettu suuntaisliittymä on kiihdytyskaistatton liittymän tavoin ristiriitaisten tavoitteiden liittymätyyppi. Sen on toisaalta luotava kuljettajille mielikuva sujuvan geometrian liittymästä, jossa nopeutta ei tarvitse pudottaa aivan minimiin kaartein aikana ennen kiihdytystä ja toisaalta taas viestittää mahdollisesta kohtaamis- ja väistötilanteesta kuljettajan ja kevyen liikenteen edustajan välillä.

Kevyen liikenteen ylityksen vuoksi liittymän geometria poikkeaa huomattavasti tavallisesta suuntaisliittymästä. Sen kaarresäteet ovat huomattavasti tavallista liittymää pienempiä, mikä mahdollistaa pienemmän keskisaarekkeen muodostumisen ja turvallisemman ylityspaikan tarjoamisen. Tämä kuitenkin rajoittaa ajoneuvojen kulkua eikä liittymä sujuvuudeltaan vastaakaan normaalia suuntaisliittymää. Pienempien kaarresäteiden vuoksi ajoradasta on pienimmän kaarresäteiden alueella lisäksi tehtävä leveämpi raskaiden ajoneuvojen liikkumisen riittävän sujuvuuden takaamiseksi. Liittymän erkanemiskaistalla käytettävä kaariyhdistelmä on 2R-R-4R ja liittymiskaistalla 3R-R-6R suunnittelussa käytettävien mitoitussuureiden ollessa *taulukon 20* mukaiset.

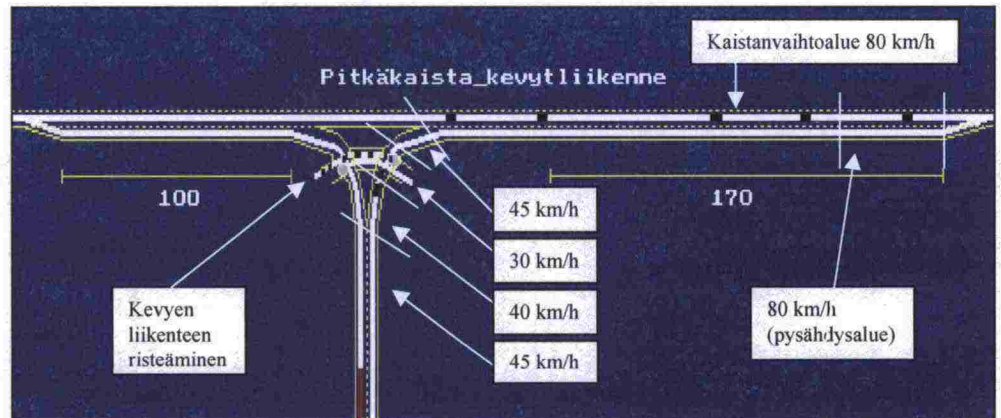
Mallinnettavan liittymän kiihdytyskaistan pituutena käytettiin samaa kuin normaalissa pitkäkaistaisessa suuntaisliittymässä kevytiliikenteen vaikutusten vertailun mahdollistamiseksi. Kevyen liikenteen määrinä simuloinneissa käytettiin 50-200 jalankulkijaa/h. Liittymä suunnittelusuureineen on esitetty *kuvassa 27* ja sen HUTSIM-malli *kuvassa 28*.

Taulukko 20. Kevyen liikenteen ylityksellä varustetun suuntaisliittymän mitoitusuureet (Tiehallinto 2001a).

α (gon)	Tulosuunta (m)					Poistumissuunta (m)				
	AC	x1	y1	d1	f1	AD	x2	y2	d2	F2
90	6,87	15,50	19,00	3,75	4,50	3,91	16,50	16,50	4,00	4,50
95	5,97	15,50	19,00	3,63	4,25	4,49	16,50	16,50	4,00	4,75
100	5,07	15,50	19,00	3,50	4,25	5,07	16,50	16,50	4,00	4,75
105	4,16	15,50	19,00	3,63	4,00	5,34	16,50	16,50	4,25	5,00
110	3,24	15,50	19,00	3,75	4,00	5,63	16,50	16,50	4,50	5,00



Kuva 27. Kevytliikenteen ylityksellä varustettu suuntaisliittymä.



Kuva 28. Kevytliikenteen ylityksellä varustetun suuntaisliittymän HUTSIM-malli.

4.2.6 Tulppaliittymä LT-b

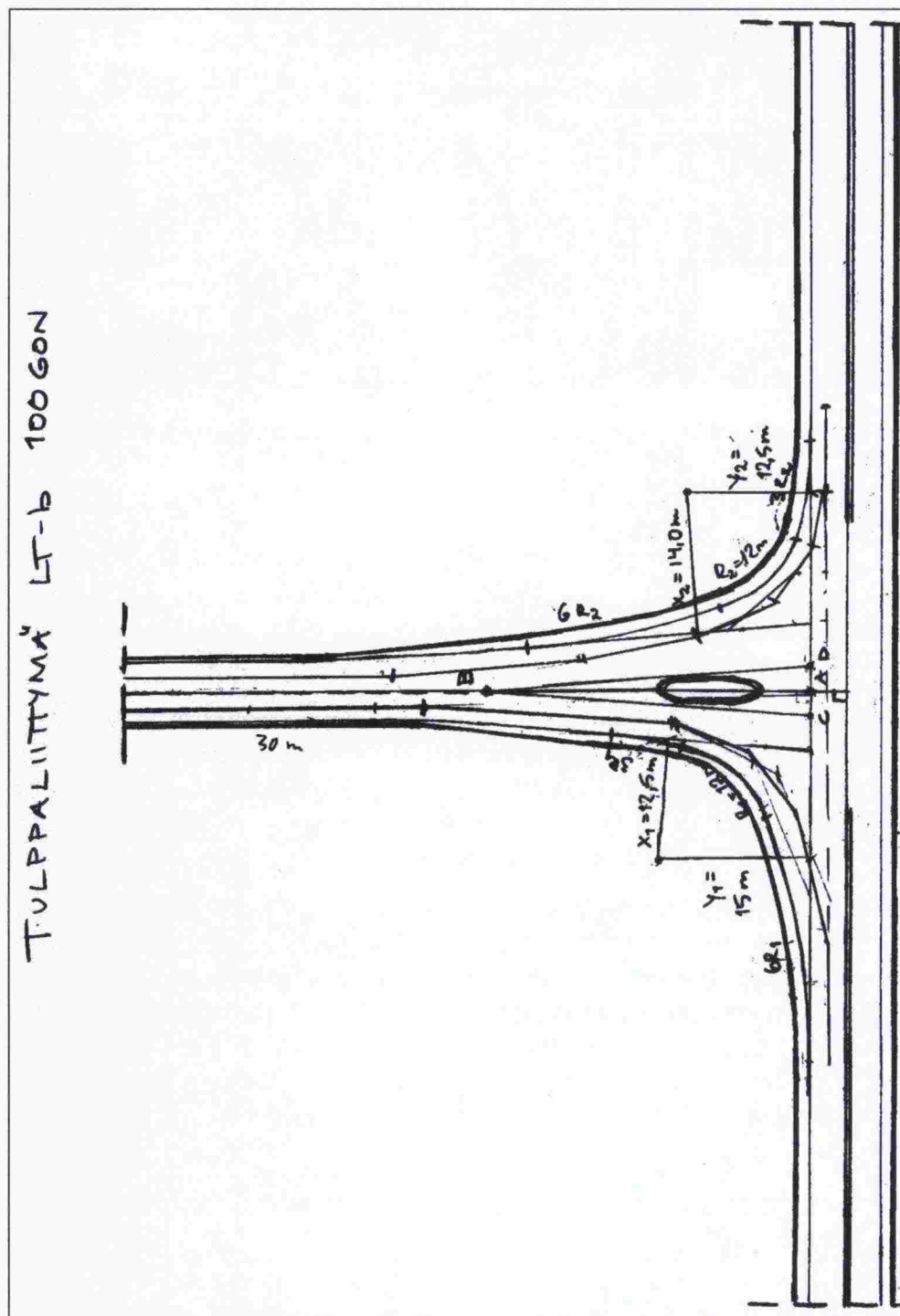
B-tyyppin tulppaliittymä on yksi perinteisimmistä ja yleisimmistä suomalaisessa tieympäristössä käytettävistä liittymätyypeistä. Sitä käytetään taajamissa ja muissa ympäristönsä puolesta ahtaissa kohteissa.

Liittymätyypin geometria on kaarresäteidensä puolesta varsin tiukka ja pakottaa kuljettajan hidastamaan tuntuvasti vauhtiaan liittymään saapuessaan, vaikka pääsuunnalta ei tulisikaan ajoneuvoja. Tämä toisaalta heikentää liittymätyypin välityskykyä, mutta toisaalta myös antaa kuljettajalle ristiriidattoman viestin hänen väistövelvollisuudestaan.

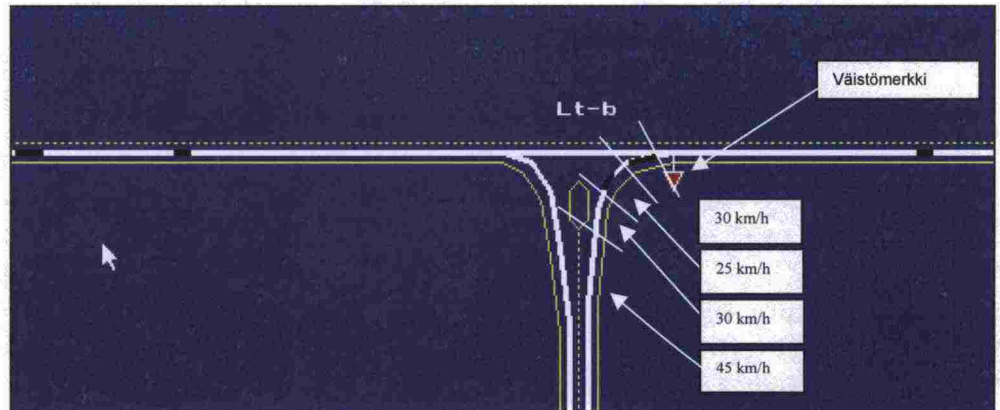
Toinen käytössä oleva tulppaliittymätyyppi, LT-a, on b-tyyppin liittymää geometrisesti sujuvampi. Simuloinnissa eri tulppaliittymätyypit eivät merkittävästi eroa toisistaan, ainoastaan liittymis- ja erkanemiskohtien nopeusvyöhykkeet ovat hieman erilaiset. Turvallisuuskäsitteiden vuoksi tässä työssä tarkasteltiin vain hitaampien nopeuksien liittymätyyppiä LT-b. Liittymän mitoitussuureet on esitetty taulukossa 21, liittymän luonnos on kuvassa 29 ja sen perustella rakennettu liittymämalli parametreineen kuvassa 30.

Taulukko 21. LT-b -liittymän mitoitusuureet (Tiehallinto 2001a).

α (gon)	AC	AD	d_1	x_1	Y_1	D_2	x_2	y_2	b	d
80	3,83	2,72	3,50	12,50	15,00	4,00	13,00	12,50	3,00	1,00
85	3,48	2,64	3,50	12,50	15,00	4,00	13,25	12,50	2,25	0,75
90	3,14	2,58	3,50	12,50	15,00	4,00	13,50	12,50	1,50	0,50
95	2,82	2,54	3,50	12,50	15,00	4,00	13,75	12,50	0,75	0,25
100	2,52	2,52	3,50	12,50	15,00	4,00	14,00	12,50	0,00	0,00
105	2,22	2,51	3,50	12,50	15,00	4,00	14,25	12,50	-0,75	0,00
110	1,93	2,52	3,50	12,50	15,00	4,00	14,50	12,50	-1,50	0,00
115	1,64	2,54	3,50	12,50	15,00	4,00	14,75	12,50	-2,25	-0,25
120	1,34	2,58	3,50	12,50	15,00	4,00	15,00	12,50	-3,00	-0,50



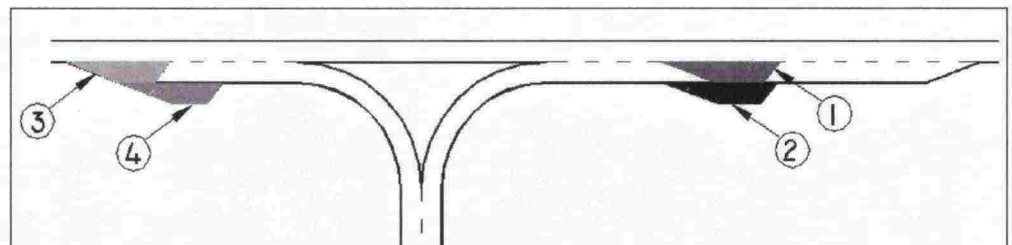
Kuva 29. LT-b -tyypin tulppaliittymä.



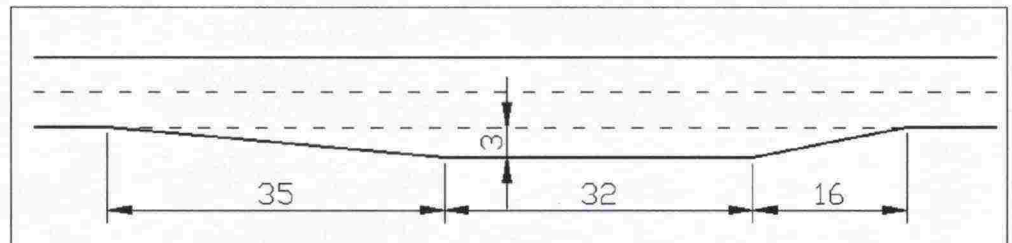
Kuva 30. LT-b -tyypin liittymän HUTSIM-malli.

4.2.7 Linja-autopysäkki suuntaisliittymässä

Linja-autopysäkin vaikutusta liikenteen turvallisuuteen tutkittiin vertailemalla neljää eri pysäkin sijoitusvaihtoehtoa keskenään pitkäkaistaisessa suuntaisliittymässä (tehokas kiihdytyskaistapituus 170 m). Vaihtoehdot olivat *kuvas- sa 31* esitetyt pysäkki kiihdytyskaistan puolivälissä ilman taskua (1), pysäkki kiihdytyskaistan puolivälissä taskulla (2), pysäkki erkanemiskaistan alussa ilman taskua (3) ja pysäkki erkanemiskaistan alussa taskulla (4). Tarkastel- tuna pysäkkityyppinä oli *kuvan 32* mukainen standardi kahden linja-auton pysäkki, jonka pysäkkiosan pituus on 32 metriä.



Kuva 31. Pysäkkivaihtoehtojen sijainti ja niiden numerointi.



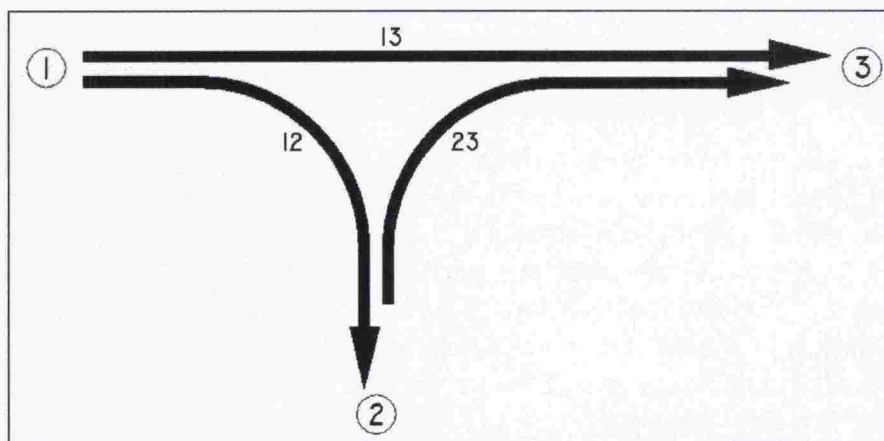
Kuva 32. Pysäkin mitoitus (Hartikainen ja Kuronen 1999).

4.3 Simuloidut liikennetilanteet

Valittujen liittymätyyppien ominaisuuksia tutkittiin yhdeksässä erilaisessa lii- kennetilanteessa. Liittymäratkaisujen vertailemiseksi tehtiin kaikista liikenne- tilanteista ensin satunnais-generoinnilla varsinaiset ajotiedostot, joiden avulla suoritettiin kaikilla liittymätyypeillä samat simuloinnit jokaista yksit- täistä ajoneuvoa myöten. Liittymien eri ajosuunnat numeroitiin *kuvan 33* mu-

kaisesti. Simulointiohjelman satunnaisgeneraattorille alkuarvoina syötetyt liikennemäärät on esitetty taulukossa 22. Satunnaisgeneroinnissa liikennemäärät eivät välttämättä toteudu aivan lähtöarvoja vastaavasti, mutta tässä tutkimuksessa käytetyn pitkäkestoisin, kolmen tunnin simulointijakson vuoksi, ne vastasivat hyvin niille alun perin määriteltyjä suureita.

Simuloinneissa pääsuunnan suoraan menevien (suunta 13) perusliikenteiksi valittiin 500, 1 000 ja 1 500 ajon/h ja siihen liittyväksi (suunta 23) kyseisen perusliikenteen eri osia. Päävirrasta erkanevat ajoneuvot (suunta 12) mallinnettiin sen vuoksi, että liittyville ajoneuvoille löytyisi todenmukainen määrä aikavälejä suorittaa liittyminen. Erkanevien ajoneuvojen lukumäärä oli 10 % päävirran suoraan menevien ajoneuvojen lukumäärästä.



Kuva 33. Ajosuuntien numerointi.

Taulukko 22. Simulointiajojen liikennemäärät.

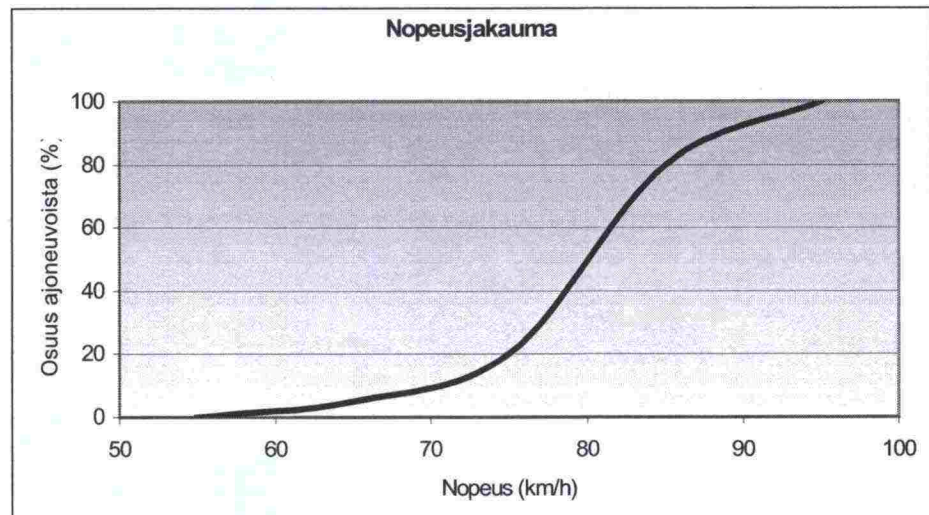
Simulointiajon numero	Liikennemäärät (ajon/h)		
	Suunta 12	Suunta 13	Suunta 23
1	50	500	100
2	50	500	165
3	50	500	250
4	100	1000	200
5	100	1000	333
6	100	1000	500
7	150	1500	300
8	150	1500	500
9	150	1500	750

Ajoneuvojen tyyppijakauma sisälsi yleisimmät Suomen tieverkolla liikkuvat, selkeästi oman ajodynamiikan omaavat ajoneuvot. Taulukossa 23 esitettyä jakaumaa käytettiin kaikissa muissa simulointiajoissa, paitsi niissä, joiden päävirran liikennemäärä oli 1 500 ajon/h. Tällöin simulointiohjelma ei alkupe-
räisellä jakaumalla löytänyt päävirtaan liittyville raskaille ajoneuvoille riittävästi sopivia ajoneuvovälejä ja niiden odotusajat kasvoivat suhteettoman pitkiksi. Tämän vuoksi suunnasta 23 ei generoitu lainkaan raskaita ajoneuvoja simulointiajoissa nro 7, 8 ja 9.

Taulukko 23. Ajoneuvotyyppijakauma.

Ajoneuvotyyppi	Osuus (%)
Henkilöauto	90
Kuorma-auto (ip)	5
Linja-auto	2
Kuorma-auto (pp)	2
Kuorma-auto (tp)	1

Simuloinnissa käytettiin 1990-luvulla tehtyihin suomalaisiin ajokäyttäytymistutkimuksiin perustuvaa Tielaitoksen nopeusjakaumaa, joka on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Simulointiajoissa käytetty nopeusjakauma (Tielaitos 1992).

Linja-autopysäkin sijaintia tutkivissa simulointiajoissa käytettiin viittä erilaista liikennetilannetta, jotka on esitetty taulukossa 24. Yhden tilanneajon kestonä käytettiin kolmea tuntia, joten kunkin pysäkkivaihtoehdon konfliktimäärät kerättiin yhteensä 15 tunnin simulointien avulla. Simuloinneissa ei käytetty ajotiedostoja muiden tarkastelujen tapaan, vaan ne toteutettiin satunnaisgeneroinnilla. Kaikissa simuloinneissa pysäkkiä käyttävien linja-autojen määrä oli vakio, 20 ajon/h. Tämä määrä on tuntuvasti suurempi kuin vastaavilla todellisilla pysäkeillä Suomen tieverkolla, mutta vain käsittelemällä riittävän suurta linja-automäärää pystyttiin erottamaan pysäkkien ominaisuuksista ja satunnaisgeneroinnista aiheutuneet vaikutukset toisistaan. Linja-autopysäkitarkasteluissa otettiin myös sivusuunnan konfliktit mukaan käsittelyyn.

Taulukko 24. Linja-autopysäkillisten liittymien simulointiajoissa käytetyt liikennemäärät.

Ajon nro	Liikennemäärä suunnittain (ajon/h)		
	12	13	23
1	50	500	100
2	50	500	250
3	100	1 000	200
4	100	1 000	500
5	150	1 500	300

Konfliktitarkastelut tehtiin samoilla liikenteen syöttötiedoilla kuin viivytys-tutkimuksessa. Liittymätyyppien erilaisen välityskyvyn vuoksi tarkasteltujen liikennetilanteiden määrä ei kuitenkaan ollut sama kaikilla tutkimusliittymillä. Turvallisuuksimulointien liikennetilanteet ja kestot liittymätyypeittäin on esi-tetty taulukossa 25

Taulukko 25. Turvallisuuksimulointien kestot ja tarkastellut liikennetilanteet liittymätyypeittäin (P=pääsuunta, S=sivusuunta, lukuarvo ko. suunnan liiken-nemäärä (ajon(h)).

Liittymä- tyyppi	Tutkitut liikennetilanteet								Simu- loinnit yht. (h)
	P500 S100	P500 S165	P500 S250	P1000 S200	P1000 S333	P1000 S500	P1500 S300	P1500 S500	
Pitkäkais-tainen	X	X	X	X	X	X	X	X	24
Lyhytkais-tainen	X	X	X	X	X	X	X		21
Kiihdytys- kaistaton	X	X	X	X	X				15
Tulppaliit- tymä	X	X	X	X	X	X			18

4.4 Simulointitutkimuksen toteutus

4.4.1 Sujuvuustutkimukset

Liikenteen sujuvuutta tarkasteltiin vertailemalla eri liittymätyyppien ajoneu-voille aiheuttamia keskimääräisiä viivytyksiä ja pysähdysmääriä keskenään. Ajoneuvojen viivytykset ja pysähdykset rekisteröitiin HUTSIMin tulostukses-ta, joka tallentaa muun muassa edellä mainitut suureet ajoneuvokohtaisesti. Viivytyksenä HUTSIM käyttää toteutuneen matka-ajan ja kyseisen ajoneu-von tavoitenopeuden mukaisen matka-ajan erotusta yhtälön (6) mukaisesti. Viivytykset riippuvat siis arvioidusta nopeusjakaumasta eivätkä ilman tietoa todellisesta jakaumasta ole täysin vertailukelpoisia liikenteestä mitattaviin suureisiin.

Viivytys = Toteutunut matka-aika generointipisteen ja määränpään

välillä - generoinnissa määritetyn tavoitenopeuden

mukainen matka-aika kyseisellä tarkasteluvälillä.

(6)

Yksittäisten ajoneuvojen keskimääräisistä pysähdysmääristä eri liikennetilanteissa pystyttiin osaltaan määrittelemään liikenteen sujuvuutta ja tätä kautta liittymätyyppien toimivuutta. Mitä useampia pysähdyksiä kuljettajat joutuvat kokemaan, sitä epämiellyttävämmäksi ja huonommin toimivaksi he liittymän kokevat. Lisäksi pysähdykset tarkoittavat aina myös ajokustannusten kasvua toistuvien kiihdytysten ja jarrutusten muodossa. Liikennevalolisissa liittymissä pyritään tavallisesti yhteen pysähdykseen/ajoneuvo valo-ohjauksen vuoksi. Valo-ohjaamattomassa liittymässä näin korkea palvelutaso ei ole mahdollinen, mutta hyväksyttävänä voitaneen pitää korkeintaan 2-3 pysähdystä/ajoneuvo.

HUTSIMissa on mahdollista määrittää liittymisrampille eri tyyppisiä toimintovyöhykkeitä tarpeen mukaan. Näitä ovat mm. nopeuden sovitus- ja päävirran tarkkailuvyöhyke, normaalien liittymistoimintojen sekä pakollisen kaistanvaihdon vyöhyke. Pakollisen kaistanvaihdon vyöhykkeen lopuksi ajoneuvo siirretään toiselle kaistalle riippumatta ko. kaistan liikennetilanteesta, jos ajoneuvo ei sitä ennen ole pystynyt vaihtoa omatoimisesti suorittamaan. Sujuvuutta tutkittiin kiihdytyskaistaliittymien osalta sekä pakotetulla että pakottamattomalla kaistanvaihdolla. Kevyen liikenteen ylityksen vaikutuksia liikenteen sujuvuuteen tutkittiin vertailemalla pitkäkaistaisen liittymän viivytyksiä ylityksellä ja ilman.

Yksiajorataisen tien kiihdytyskaistaliittymässä kaksi liikennevirtaa pakotetaan käyttämään samaa kaistaa, jolloin suurilla liikennemäärillä kiihdytyskaistan kohdalle syntyy paikallinen pullonkaula. Tällöin pääsuunnan ajoneuvojen kulku hidastuu ja syntyy painetta hitaiden ajoneuvojen ohituksiin vastaantulevien kaistan kautta. Turvallisuuden vuoksi tämän tyyppisillä liittymäalueilla ei tavallisesti ohituksia sallita, sillä harkitsematon ohitus virtojen sekoittumisalueella saattaa johtaa arvaamattomiin seurauksiin. Alustavassa tutkimussuunnitelmassa ohituspaineen esiintymisen tarkastelu aiottiin toteuttaa tämän työn puitteissa, mutta HUTSIMin kehitystyön ollessa kyseiseen suureen liittyvän mallinnustavan osalta vielä kesken, se ei onnistunut.

4.4.2 Turvallisuustutkimukset

Yksi yleisimmin käytetyistä turvallisuusmittareista liikenteessä on ajoneuvokonfliktien tarkastelu. Konfliktilla tarkoitetaan kahden ajoneuvon välistä vuorovaikutustilannetta, jossa toinen ajoneuvo joutuu muuttamaan nopeuttaan toisen ajoneuvon sille aiheuttaman estevaikutuksen vuoksi. Tässä työssä liittymien turvallisuusnäkökulman tarkastelua varten luotiin HUTSIMiin erityinen konfliktitulostusmuoto. Tämä tulostusmuoto rekisteröi ajoneuvojen toisilleen aiheuttamat voimakkaat nopeudenmuutostilanteet ja tulostaa sekä ajan törmäykseen (*Time-to-Collision* - TTC) että ajoneuvoilta vaaditun hidastuvuuden (a) törmäyksen estämiseen. Näiden suureiden laskeminen on esitetty yhtälöissä (7) ja (8) (Svensson 1998).

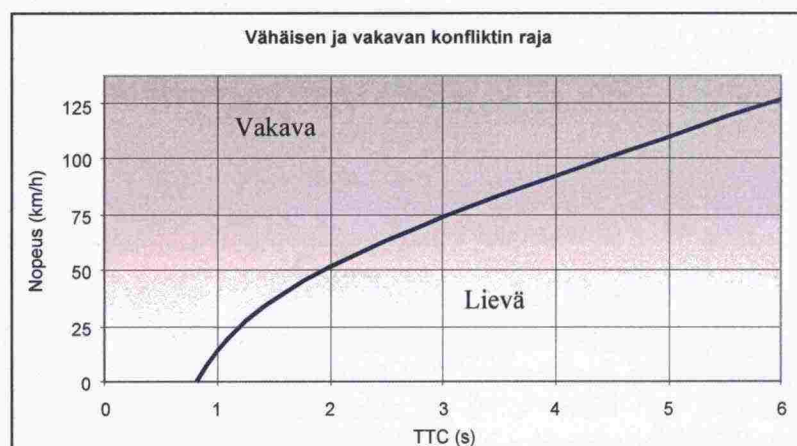
$$TTC = \frac{D}{v} \quad (7)$$

jossa D = ajoneuvon etäisyys törmäyspisteeseen (m)
 v = nopeus reagoimishetkellä (m/s).

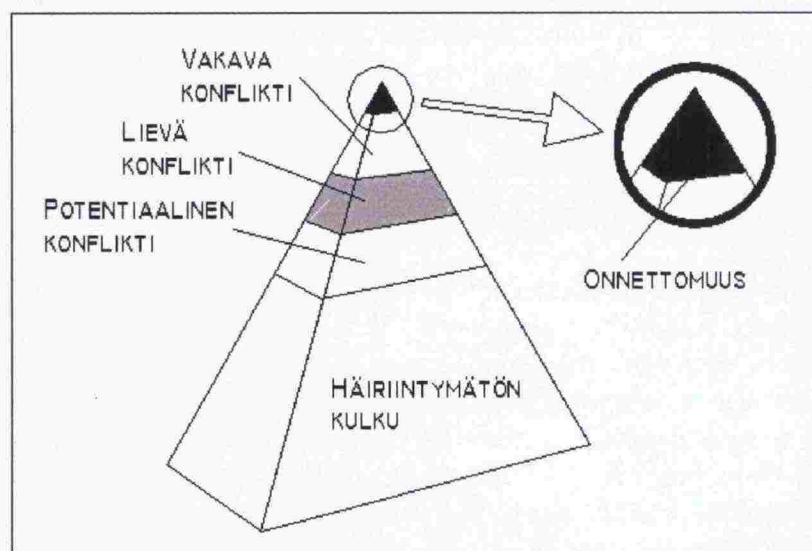
$$a = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 * s} \quad (8)$$

jossa a = ajoneuvon 2 hidastuvuus törmäyksen välttämiseksi (m/s^2)
 s = ajoneuvojen välinen etäisyys reagointihetkellä (m)
 v_1 = ajoneuvon 1 nopeus reagointihetkellä (m/s)
 v_2 = ajoneuvon 2 nopeus reagointihetkellä (m/s).

Konfliktin vaarallisuusaste voidaan luokitella TTC:n avulla *kuvan 35* mukaisesti ja luokitusta voidaan tarkentaa ajoneuvolta vaaditun hidastuvuuden avulla. Näin on mahdollista antaa alustavia arvioita siitä, kuinka onnettomuusaltis mallinnettu kohde on. Makrotason konfliktitarkastelua voidaan parhaiten kuvata pyramidimallilla, joka on esitetty *kuvassa 36*.



Kuva 35. Konfliktien luokittelu (Svensson 1998).



Kuva 36. Konfliktipyramidi (Svensson 1998).

Konfliktipyramidin mukaisesti vain murto-osa tapahtuneista konflikteista johtaa onnettomuuteen. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan liittymässä tapahtuukin konflikteja tavallisesti noin 3 000 - 40 000 yhtä poliisille raportoitua onnettomuutta kohti (Lund 1992). Määrä riippuu konfliktityypeistä ja niiden vaarallisuudesta. Jos liittymän joiltain liikennevirroilta poistetaan niiden keski-

näiset konfliktit kokonaan, ei tämän tyyppisiä onnettomuuksia myöskään esiinny.

Mikrosimuloinnilla ei ole mahdollista mallintaa liikennettä sellaisella tarkkuudella, että onnettomuuksien tarkkaa lukumäärää tai niiden tapahtumiseen johtavia liikennetilanteita voitaisiin määritellä. Tämän tyyppisen tiedon saavuttamiseksi tulee simulointi toteuttaa vielä paljon suuremmalla tarkkuudella, niin sanottuna nanosimulointina. Siinä sekä kuljettajan että ajoneuvon toiminta mallinnetaan erikseen, jolloin niiden välinen vuorovaikutus muodostaa yhden merkittävän lisätekijän muiden turvallisuuteen vaikuttavien parametrien rinnalle. Tässä työssä tämän asteisen tarkkuuden saavuttaminen oli mahdotonta ja turvallisuus arvioitiinkin vain keskimääräissuureista, konfliktien määristä ja vakavuusasteista.

Ajoneuvon maksimihidastuvuutena hätäjarrutuksessa pidetään $6 - 8 \text{ m/s}^2$. Epämiellyttävänä kuljettajat kokevat jo $2,5 - 3 \text{ m/s}^2$ hidastuvuudella tapahtuvat jarrutukset. Törmäyksen välttämiseksi vaadittuja hidastuvuuksia käsiteltiin tutkimalla niiden jakaumia ja vaarallisten konfliktien osuuksia. Linja-autopysäkkien turvallisuusvaikutusten arvioinnissa vakavan ja vähäisen konfliktin välisenä raja-arvona käytettiin hidastuvuutta $3,5 \text{ m/s}^2$.

HUTSIMiin tehtyä konfliktitulostusmuotoa ei ole kalibroitu todellisen liikennedatan avulla, joten sen avulla saadut tulokset eivät ole yleistettävissä. Kuitenkin samoissa liikennetilanteissa suoritettut vertailut eri liittymätyyppien kesken antavat selkeitä suuntaviivoja liittymäratkaisujen onnettomuusherkyydestä ja niiden keskinäisestä turvallisuudesta.

Konfliktit rekisteröitiin vain liittymäalueella sijainneiden pääsuunnan ajoneuvojen osalta. Näin pystyttiin erottamaan toisistaan esimerkiksi väistömerkin aiheuttamat jarrutukset todellisista, kahden ajoneuvon välisestä vuorovaikutuksesta ja tutkimuksen kannalta epäoleelliset, päätien liittymäalueen ulkopuoliset tapahtumat jäivät aineiston ulkopuolelle.

4.5 Simulointitulokset

4.5.1 Viivytykset

Ajoneuvoille eri liittymävaihtoehdoissa aiheutuneet keskimääräiset viivytykset on esitetty kuvissa 37-43. Niistä ilmenee, että kummankin tutkitun kiihdytyskaistallisen liittymätyypin välityskyky on kiihdytyskaistattomia liittymiä huomattavasti suurempi. Myös kaistapituus vaikuttaa välityskykyyn.

Tarkasteltaessa erilaisia kaistanvaihdon toteutustapoja on huomioitava pakotetun kaistanvaihdon vaikutus eri suuntien keskinäisiin viivytyksiin. Pakotettu kaistanvaihto aiheuttaa liittymien ruuhkautuessa pääsuunnalle suuremmat viivytykset kuin pakottamaton, sillä pääsuunnan ajoneuvot ikään kuin pakotetaan antamaan tilaa kiihdytyskaistalta tuleville ajoneuvoille kiihdytyskaistan päättyessä. Pakotetussa kaistanvaihdossa rampilta tulevat ajoneuvot eivät joudu ruuhkaisissa olosuhteissa pysähtymään kiihdytyskaistan loppuun, pakottamattomassa vaihtoehdossa niin voi käydä, mikäli

sopivaa aikaväliä ei löydy päätien liikennevirrasta. Todellisuudessa kaistanvaihtotoiminto lienee pakotetun ja pakottamattoman toiminnan välimuoto.

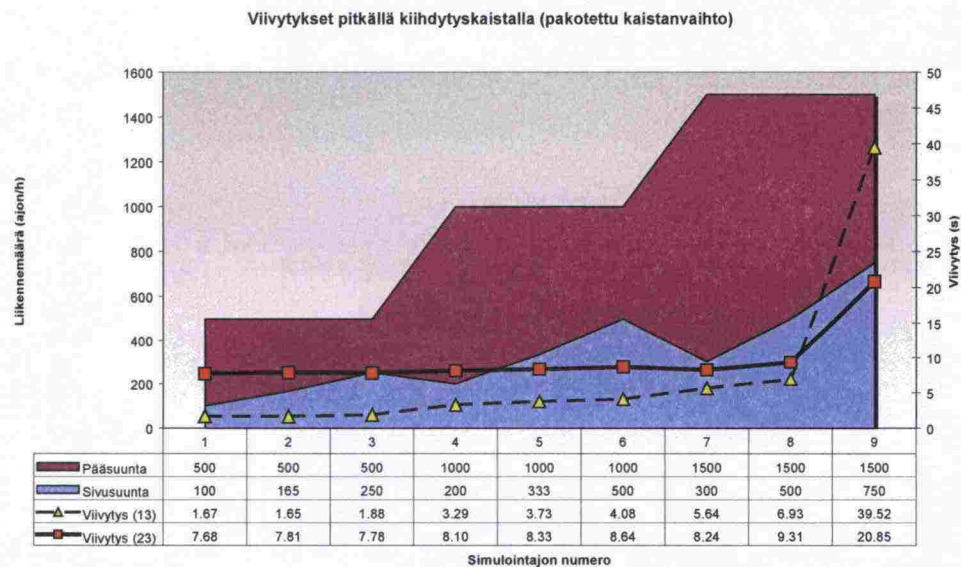
Pitkäkaistainen liittymä pystyy tarjoamaan joustavan liityntämahdollisuuden vielä pääsuunnan (suunta 13) liikennemäärän ollessa 1 500 ajon/h ja sivusuunnan (suunta 23) 300–500 ajon/h kaistanvaihdon toteutuksesta riippuen. Kaistanvaihdon toteuttamistapa vaikuttaa voimakkaasti kaistapituuden välityskyvylisen merkityksen arviointiin. Lyhytkaistaisessa liittymässä pääsuunnan välityskyky on pakottamattomalla kaistanvaihdolla noin 500 ajon/h pitkäkaistaista alempi, mutta pakotetulla vaihdolla ei merkittäviä eroja pitkäkaistaiseen liittymään esiinny. Tämä osoittaa sen, että ruuhkaisissa olosuhteissa rampilta tulevat ajoneuvot eivät löydä päätien liikennevirrasta tarpeeksi suuria aikavälejä ja ilman pakotettua kaistanvaihtoa viivytykset muodostuvat suuriksi. Liittymistä vaikeuttaa pitkäkaistaiseen liittymätyyppiin verrattuna se, että nopeuserot rampilta tulevien ja päätien ajoneuvojen välillä ovat suuremmat. Lyhytkaistaisen liittymän välityskyky lienee pakottamattoman ja pakotetun vaihtoehdon välityskyvyn välillä.

Kiihdytyskaistattomien liittymien välityskyky on samanaikaisesti noin 1 000 ajon/h pääsuunnalla ja 200–330 ajon/h sivusuunnalla. Tulppaliittymässä sivusuunnan ajoneuvojen viivytys on pienempi kuin suuntaisliittymässä, muuta ero ei ole kovin suuri, kun päätien liikennemäärä on alle 1 000 ajon/h. Osittain ero saattaa johtua siitä, että HUTSIMissa viivytys lasketaan toteutuneen matka-ajan ja ajoneuvon tavoitenopeuden mukaisen matka-ajan erotuksena. Suuntaisliittymän mallissa rampin kaarre oli pidempi kuin tulppaliittymän mallissa, jolloin ajoneuvot ajoivat pidemmän matkan viivytettynä. Ajonopeus oli suuntaisliittymässä kuitenkin suurempi kuin tulppaliittymässä.

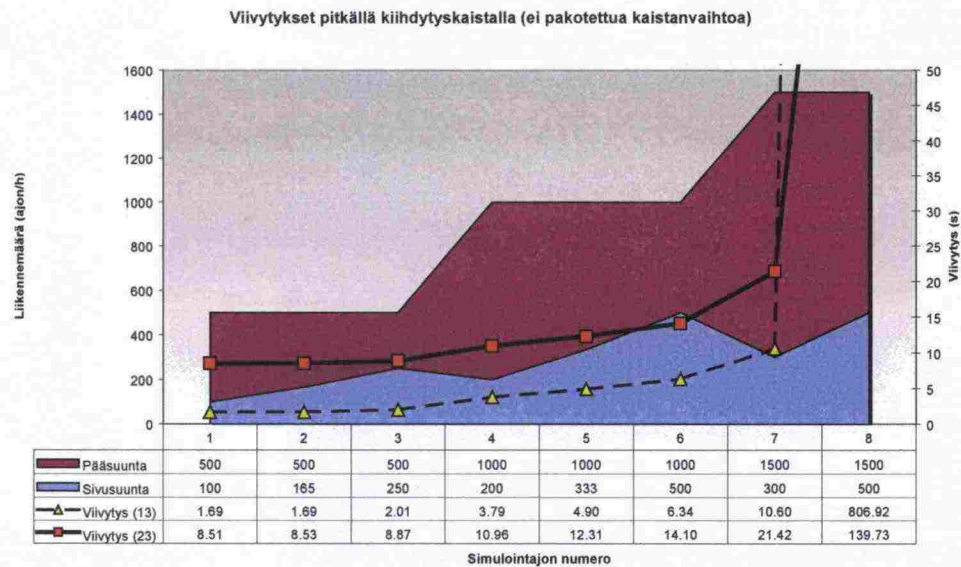
Sivusuunnan viivytykset ovat kiihdytyskaistallisissa liittymissä noin 7–9 sekuntia alhaisemmat kuin kiihdytyskaistattomissa liittymissä, kun päätien liikennemäärä on 500 ajon/h ja sivusuunnan liikennemäärä vaihtelee 100–250 ajon/h. Päätien liikennemäärän ollessa 1 000 ajon/h ja sivusuunnan 200 ajon/h, on ero 12–20 sekuntia. Sivusuunnan liikennemäärän kasvaessa tästä ero on jo huomattavasti suurempi, sillä kiihdytyskaistattomien liittymien välityskyvyn raja on lähellä. Pääsuunnan viivytysten kannalta ei kiihdytyskaistallisten ja -kaistattomien liittymätyyppien välillä ole juurikaan eroa.

Kevyen liikenteen risteäminen lisää sivusuunnan ajoneuvojen viivytyksiä n. 30–50 % (3–10 s/ajon) sivusuunnan liikennemäärästä riippuvaisesti. Kevyen liikenteen määrällä taas ei ole huomattavaa vaikutusta viivytyksiin, tutkittujen kevytliikenteen tilanteiden välille ei muodostunut merkittäviä systemaattisia eroja.

Yhteenvedona voidaan todeta, että pitkäkaistainen suuntaisliittymä tarjoaa tutkituista liittymistä selkeästi parhaan välityskyvyn viivytysten jäädessä pieniksi suurillakin liikennemäärillä. Lyhytkaistainen liittymä ruuhkautuu jonkin verran pitkäkaistaista helpommin, mutta on kuitenkin paljon tehokkaampi kuin kiihdytyskaistattomat liittymätyypit.



Kuva 37. Keskimääräinen viivytys (s/ajon) pitkällä kiihdytyskaistalla pakotetulla kaistanvaihdolla.



Kuva 38. Keskimääräinen viivytys (s/ajon) pitkällä kiihdytyskaistalla ilman pakotettua kaistanvaihtoa.

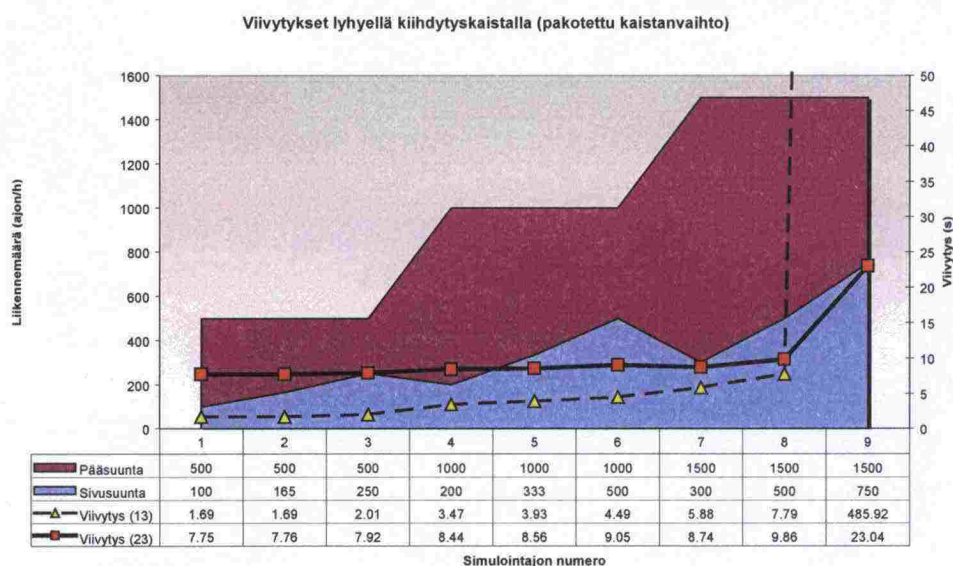
KUVAAJIEN SELITYKSET:

Pääsuunta = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h)

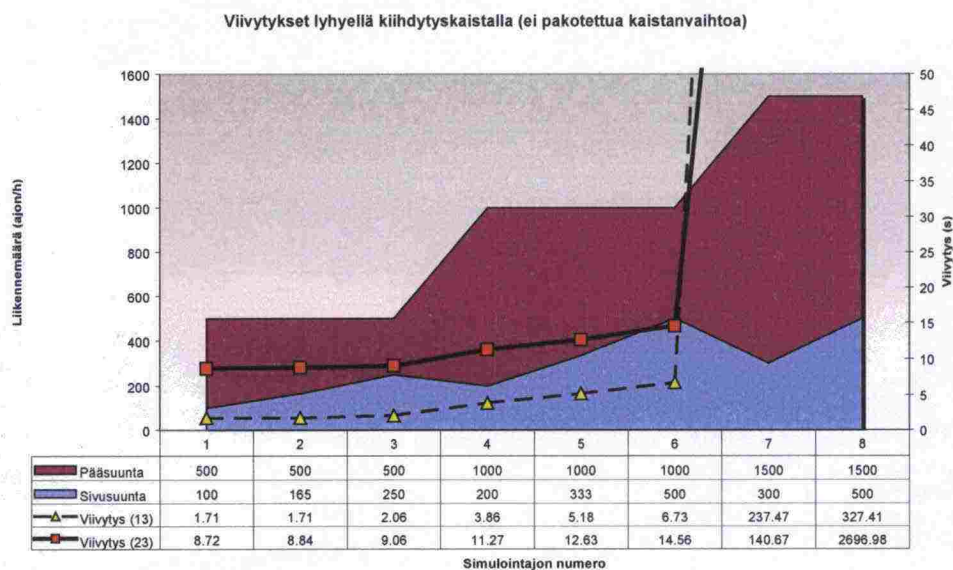
Sivusuunta = sivusuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Viivytys (13) = pääsuunnan ajoneuvojen keskimääräinen viivytys (s/ajon)

Viivytys (23) = sivusuunnan ajoneuvojen keskimääräinen viivytys (s/ajon)



Kuva 39. Keskimääräinen viivytys (s/ajon) lyhyellä kiihdytyskaistalla pakotetulla kaistanvaihdolla.



Kuva 40. Keskimääräinen viivytys (s/ajon) lyhyellä kiihdytyskaistalla ilman pakotettua kaistanvaihtoa.

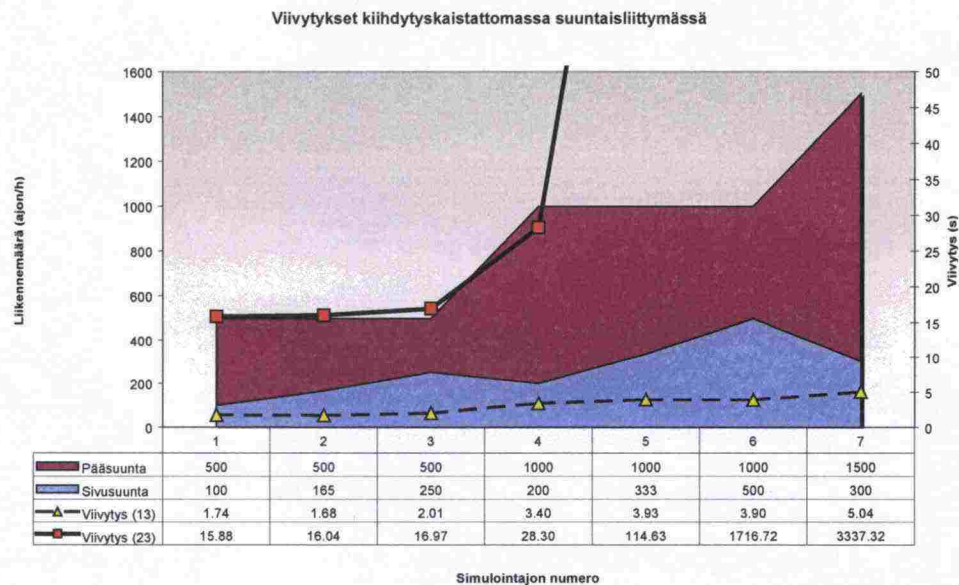
KUVAAJIEN SELITYKSET:

Pääsuunta = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h)

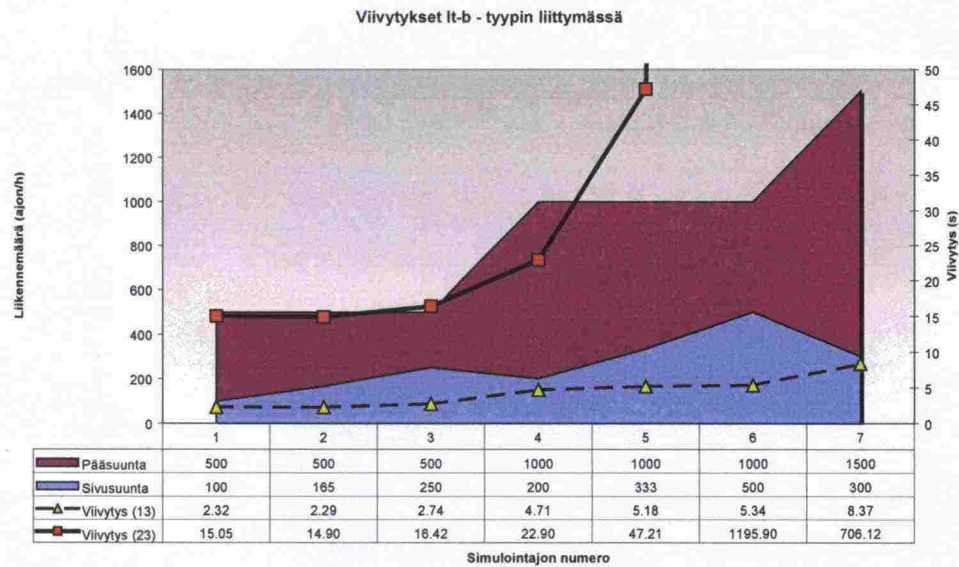
Sivusuunta = sivusuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Viivytys (13) = pääsuunnan ajoneuvojen keskimääräinen viivytys (s/ajon)

Viivytys (23) = sivusuunnan ajoneuvojen keskimääräinen viivytys (s/ajon)



Kuva 41. Keskimääräinen viivytys (s/ajon) kiihdytyskaistattomassa suuntaisliittymässä.



Kuva 42. Keskimääräinen viivytys (s/ajon) LT-b -tyypin tulppaliittymässä.

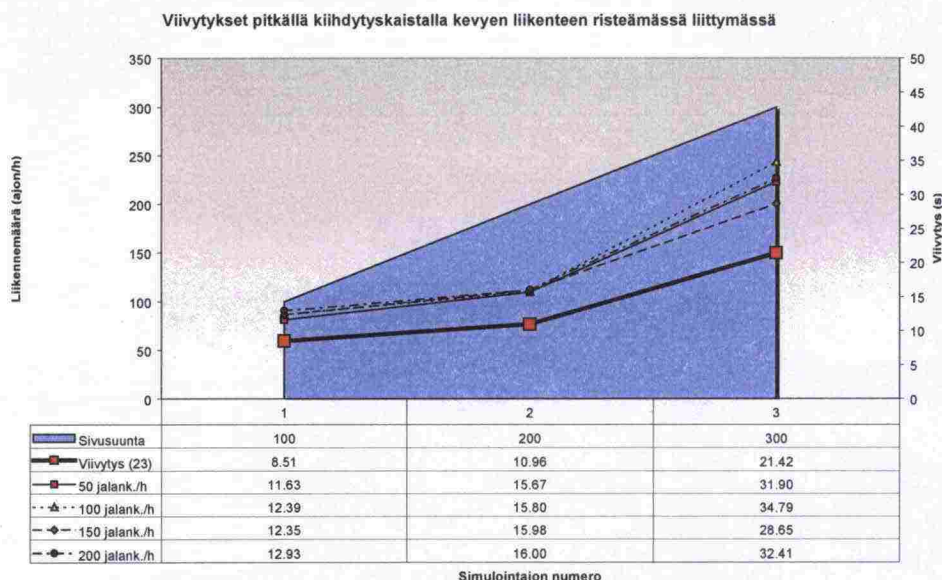
KUVAAJIEN SELITYKSET:

Pääsuunta = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Sivusuunta = sivusuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Viivytys (13) = pääsuunnan ajoneuvojen keskimääräinen viivytys (s/ajon)

Viivytys (23) = sivusuunnan ajoneuvojen keskimääräinen viivytys (s/ajon)



Kuva 43. Kevytiliikenteen risteämisen vaikutus ramppiajoneuvojen viivytysiin suuntaisliittymässä, jossa on pitkä kiihdytyskaista.

4.5.2 Pysähdykset

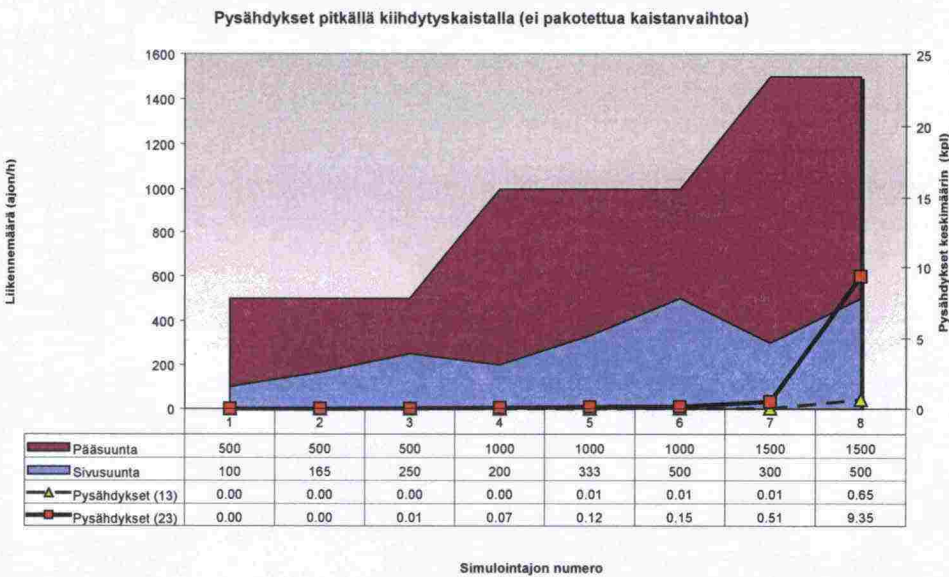
Kuvissa 44-47 esitetyt yksittäisten ajoneuvojen keskimääräiset pysähdysmäärät noudattelevat viivytystuloksia ja osaltaan vahvistavat niiden antamia tuloksia eri liittymätyyppien välityskyvystä.

Kiihdytyskaistallisilla liittymillä ei pakotetulla kaistanvaihdolla tapahtunut pysähdyksiä missään liikennetilanteessa lukuun ottamatta lyhytkaistaisen liittymän vilkasliikenteistä tutkittua vaihtoehtoa. Siinäkin pysähdysmäärän keskiarvo oli alle yksi pysähdys/ajoneuvo. Tämän vuoksi kyseisiä tuloksia ei ole esitetty omina kuvinaan. Pakottamattomalla kaistanvaihdolla mallinnetussa liittymässä nähdään pitkäkaistaisen liittymän ruuhkautuvan liikennetilanteessa, jossa pääsuunnan liikennemäärä on 1 500 ajon/h ja sivusuunnan 500 ajon/h. Lyhytkaistaisen liittymän vastaavat luvut ovat pääsuunnalla 1 500 ajon/h ja sivusuunnalla 300 ajon/h.

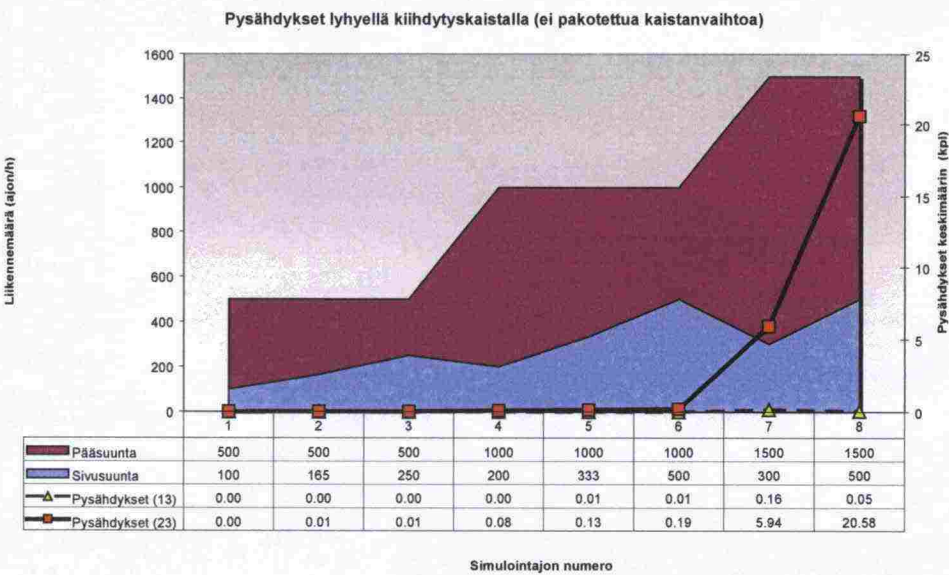
Kiihdytyskaistattomista liittymistä suuntaisliittymän pysähdysmäärät ovat suuremmat kuin tulppaliittymän, mutta ero on pieni, kun päätien liikennemäärä on korkeintaan 1 000 ajon/h ja sivutien liikennemäärä samanaikaisesti korkeintaan 200 ajon/h. Tulppaliittymä ruuhkautuu pääsuunnan liikennemäärän ollessa 1 000 ajon/h ja sivusuunnan 330 ajon/h, suuntaisliittymän vastaavat luvut ovat pääsuunnalla 1 000 ajon/h ja sivusuunnalla 200–330 ajon/h.

Pysähdysten kannalta kiihdytyskaistalliset liittymät ovat ylivoimaisia kiihdytyskaistattomiin nähden. Ne pystyvät vilkkaidenkin liikennetilanteiden käsitelyyn ilman ajoneuvovirtojen pakottamista toistuviin pysähdyksiin. Ero kiihdytyskaistattomien ja -kaistallisten liittymien pysähtymismäärissä sivusuunnalla on noin 0,4–1,1 pysähdystä/ajon, kun pääsuunnan liikennemäärä on korkeintaan 1 000 ajon/h ja sivusuunnan liikennemäärä samanaikaisesti korkeintaan 200 ajon/h. Liikennemäärien kasvaessa tästä on ero selvästi suu-

remppi, sillä kiihdytyskaistattomien liittymien välityskyvyn raja on lähellä. Eri liittymätyyppien keskinäinen järjestys on sama kuin viivytyksien osalta eli pitkäkaistainen liittymä on ehdottomasti paras.



Kuva 44. Pysähdykset keskimäärin (kpl/ajon) pitkäkiihdytyskaistaisessa suuntaisliittymässä ilman pakotettua kaistanvaihtoa.



Kuva 45. Pysähdykset keskimäärin (kpl/ajon) lyhytkiihdytyskaistaisessa suuntaisliittymässä ilman pakotettua kaistanvaihtoa.

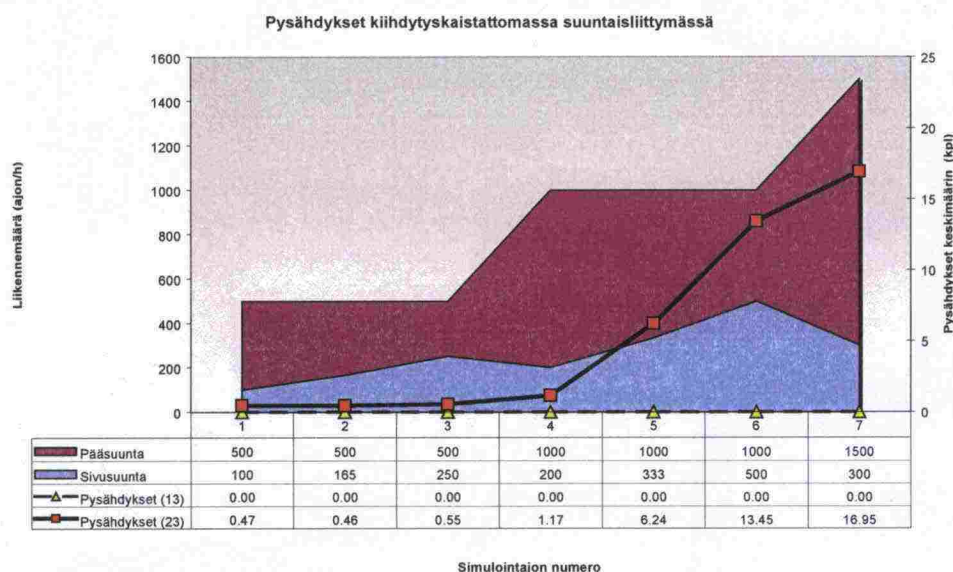
KUVAAJIEN SELITYKSET:

Pääsuunta = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h)

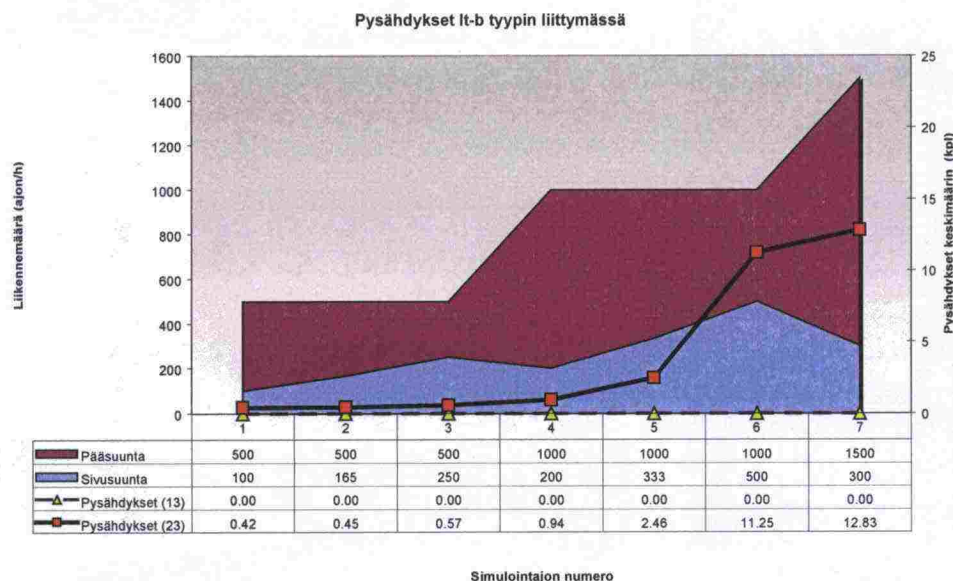
Sivusuunta = sivusuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Pysähdykset (13) = pysähdykset pääsuunnalla keskimäärin (kpl/ajon)

Pysähdykset (23) = pysähdykset sivusuunnalla keskimäärin (kpl/ajon)



Kuva 46. Pysähdykset keskimäärin (kpl/ajon) suuntaisliittymässä, jossa ei ole kiihdytyskaistaa.



Kuva 47. Pysähdykset keskimäärin (kpl/ajon) LT-b -tyypin tulppaliittymässä.

KUVAAJIEN SELITYKSET:

Pääsuunta = pääsuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Sivusuunta = sivusuunnan liikennemäärä (ajon/h)

Pysähdykset (13) = pysähdykset pääsuunnalla keskimäärin (kpl/ajon)

Pysähdykset (23) = pysähdykset sivusuunnalla keskimäärin (kpl/ajon)

4.5.3 Konfliktimäärät ja -jakaumat

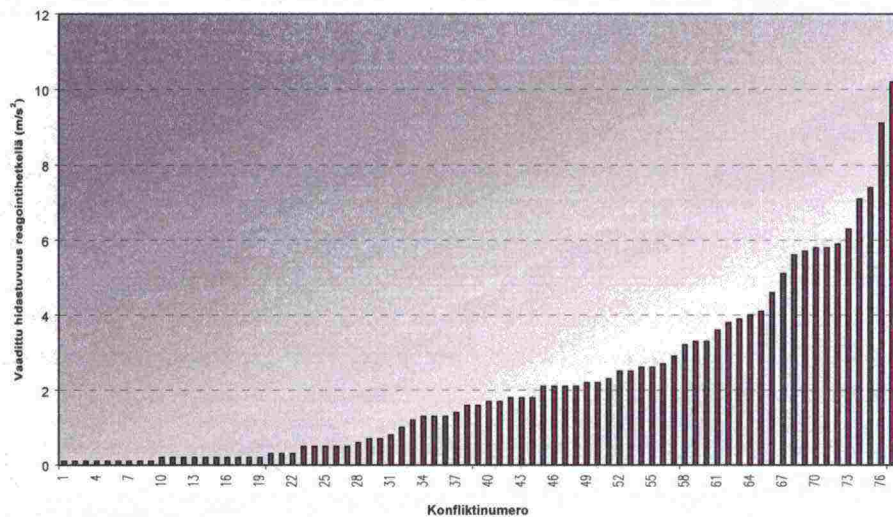
Kuvissa 48-51 on esitetty liittymätyypeittäin tutkituissa liikennetilanteissa kaikki pääsuunnan liittymäalueella tapahtuneet konfliktit törmäyksen estämiseksi vaadittujen hidastuvuuksien mukaisessa suuruusjärjestyksessä. Kuvissa jokainen pylväs vastaa yhtä konfliktia. Näistä tarkasteluista ilmenee selkeitä eroja ajoneuvojen keskinäisessä vuorovaikutuksessa kiihdytyskaistattomien ja -kaistallisten liittymien välillä. Kiihdytyskaistaliittymien konfliktimäärät ovat huomattavasti, noin kolme-neljä kertaa suuremmat kuin liittymissä, joissa ei ole kiihdytyskaistaa. Tämä tarkoittaa merkittävää eroa liittymien turvallisuusasteessa. Tuloksia tarkastellessa ja konfliktimääriä verrattaessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kiihdytyskaistaliittymien tulokset ovat peräisin useammasta simulointiajosta (*taulukko 25*).

Kiihdytyskaistat tarjoavat siis liittyville ajoneuvoille joustavamman liittymäympäristön, mutta samalla suoraan menevien ajoon syntyy häiriöitä varsinkin suuntien liikennemäärien erotessa huomattavasti toisistaan. Tällöin ajoneuvojen keskinäinen vuorovaikutus ja onnettomuusriski kasvavat.

Pitkä- ja lyhytkaistaisen liittymän konfliktijakaumat ovat melko identtisiä sekä konfliktimääriltään että vaadituilta hidastuvuuksiltaan. Lyhyellä kiihdytyskaistalla on kuitenkin tapahtunut tutkittuihin simulointiajomääriin nähden suhteellisesti pitkäkaistaista enemmän konflikteja.

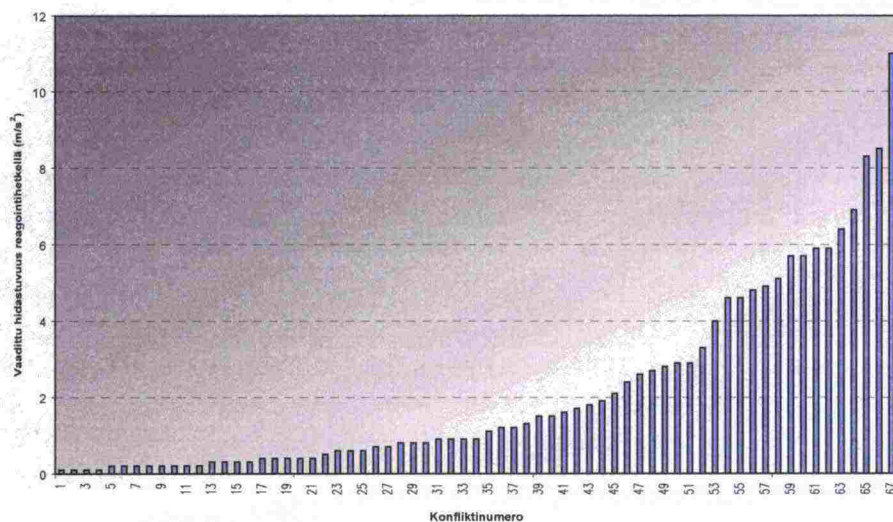
Tulppaliittymässä tapahtui kokonaismäärältään vähiten konflikteja. Kiihdytyskaistattoman suuntaisliittymän konfliktimäärät eivät merkittävästi poikenneet tulppaliittymästä, mutta tarkasteltuja liikennetilanteita oli yksi vähemmän kuin tulppaliittymässä. Kiihdytyskaistattomassa suuntaisliittymässä konfliktien välttämiseksi vaaditut hidastuvuudet olivat alhaisempia kuin tulppaliittymässä. Tuloksia analysoitaessa on otettava huomioon, että mallinnetuissa liittymissä oli rampilta mahdollista kääntyä vain oikealle, joten tulppaliittymän vasemmalle kääntyvän liikenteen konflikteja ei tässä yhteydessä ole huomioitu. Myös täytyy ottaa huomioon se, että simuloinneissa konfliktit ovat kahden samaan suuntaan ajavan ajoneuvon välisiä konflikteja. Siten esimerkiksi vaaratilanteita, joissa kuljettaja ajaa suuntaisliittymään liian suurella nopeudella ja suistuu vastaantulevien kaistalle, ei ole voitu tarkastella.

Vaadittujen hidastuvuuksien jakauma pitkällä kiihdytyskaistalla

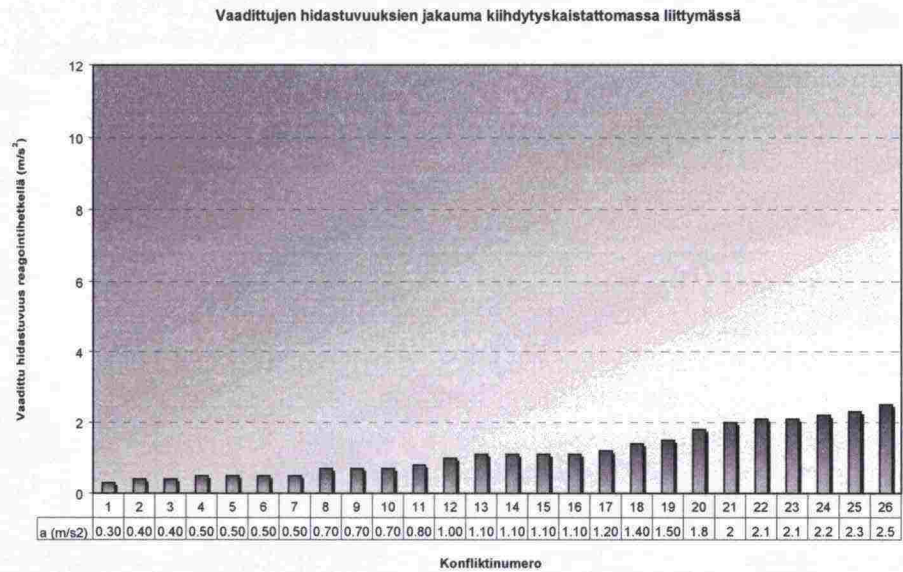


Kuva 48. Törmäyksen välttämiseen vaaditut hidastuvuudet suuntaisliittymässä, jossa on pitkä kiihdytyskaista.

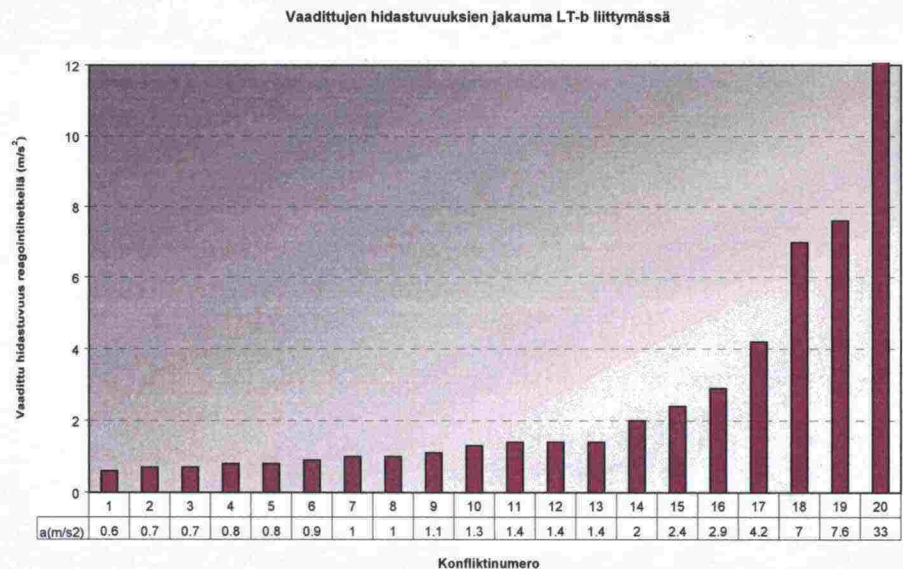
Vaadittujen hidastuvuuksien jakauma lyhyellä kiihdytyskaistalla



Kuva 49. Törmäyksen välttämiseen vaaditut hidastuvuudet suuntaisliittymässä, jossa on lyhyt kiihdytyskaista.



Kuva 50. Törmäyksen välttämiseen vaaditut hidastuvuudet suuntaisliittymässä, jossa ei ole kiihdytyskaistaa.



Kuva 51. Törmäyksen välttämiseen vaaditut hidastuvuudet tulppaliittymässä.

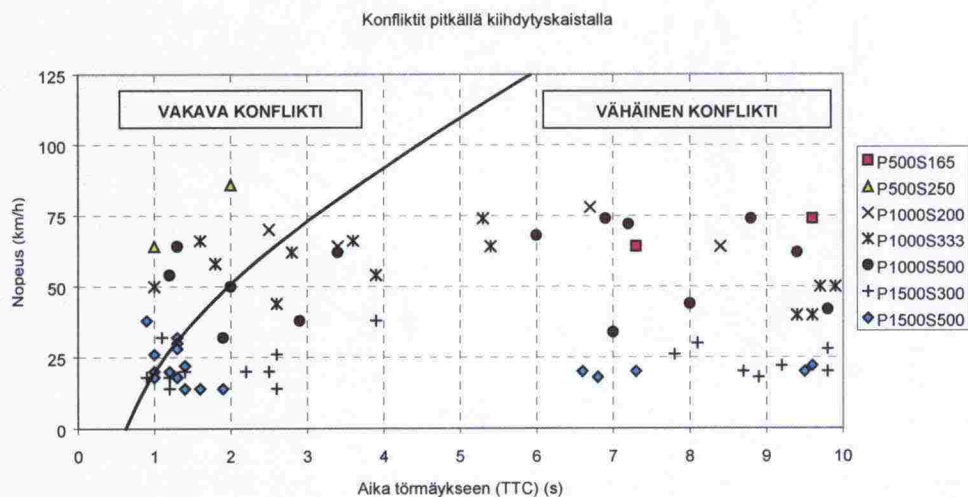
4.5.4 Konfliktien vakavuuden tarkastelu

Edellä esitettyjen hidastuvuustarkastelujen lisäksi konfliktien vakavuutta tutkittiin TTC-suureen avulla luvun 4.4.2 mukaisesti. Nopeus-TTC -pisteistöjen avulla tapahtunut konfliktien jako vakaviin ja vähäisiin on esitetty kuvissa 52-55. Lisäksi konfliktimäärät on esitetty simulointiajokohtaisesti vakaviin/ vähäisiin jaoteltuna taulukossa 26. Tulokset noudattelevat muuten hidastuvuustarkasteluja, mutta niistä ilmenee myös missä liikennetilanteessa mikäkin konflikti on muodostunut.

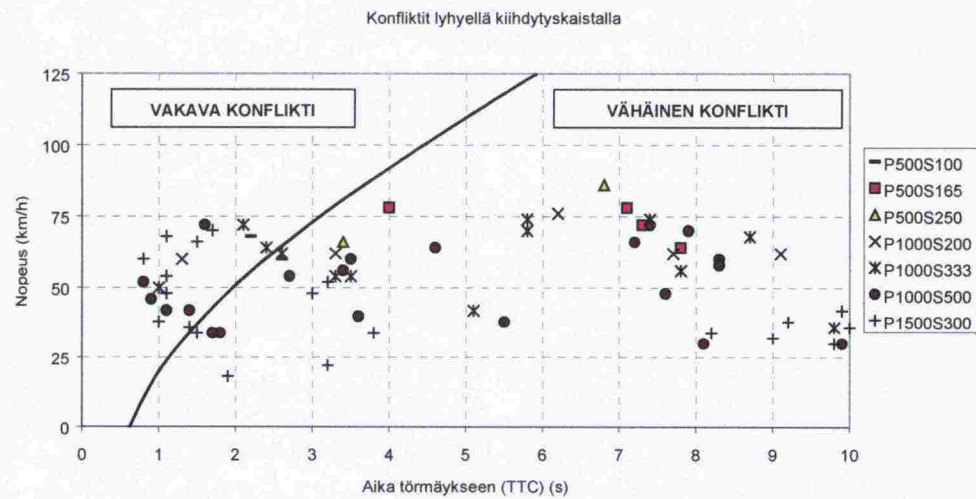
Kiihdytyskaistattomat liittymät poikkeavat konfliktiluokittelussa kiihdytyskaistallisista huomattavasti. Niissä pääsuunnan ajoneuvot kulkevat lähes häiriöttä riippumatta liikennetilanteesta, nopeuden ollessa väylälle määritellyn rajoituksen tuntumassa. Kiihdytyskaistallisissa liittymissä liikennemäärien ollessa suuria myös pääväylän liikenne hidastuu, mikä aiheuttaa konfliktipisteiden eri tyyppisen jakautumisen kiihdytyskaistattomiin liittymiin verrattuna.

Suhteellisesti eniten vakavia konflikteja tapahtui tulppaliittymässä (30 % konfliktien lukumäärästä), toiseksi eniten lyhytkaistaisessa suuntaisliittymässä (27 %). Kiihdytyskaistallisten liittymien konfliktimäärät ovat kiihdytyskaistattomiin verrattuna hiljaisemmilla liikenteillä lähes identtisiä, mutta pääsuunnan liikenteen ollessa 1 000 ajon/h ja sivusuunnan yli 200 ajon/h alkaa eroja muodostua kiihdytyskaistattomien hyväksi.

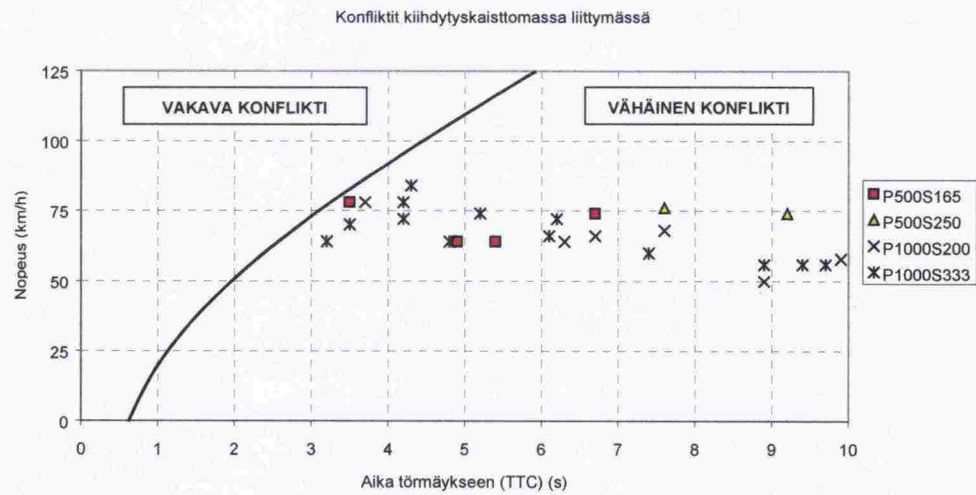
Kiihdytyskaistattoman suuntaisliittymän ja tulppaliittymän välillä on eroja konfliktien vakavuudessa. Suuntaisliittymässä ei tarkastelluissa liikennetilanteissa tapahtunut yhtään vakavaa konfliktia, kun taas tulppaliittymässä niitä oli noin kolmasosa kokonaismäärästä, mikä on suhteellisesti eniten kaikista tarkastelluista liittymätyypeistä. Tässä yhteydessä tulee taas ottaa huomioon se, että simuloinneissa on tarkasteltu ainoastaan rampilta oikealle kääntyvää liikennettä ja vaaratilanteita, joissa kuljettaja ajaa suuntaisliittymään liian suurella nopeudella ja suistuu vastaantulevien kaistalle, ei ole voitu simuloida.



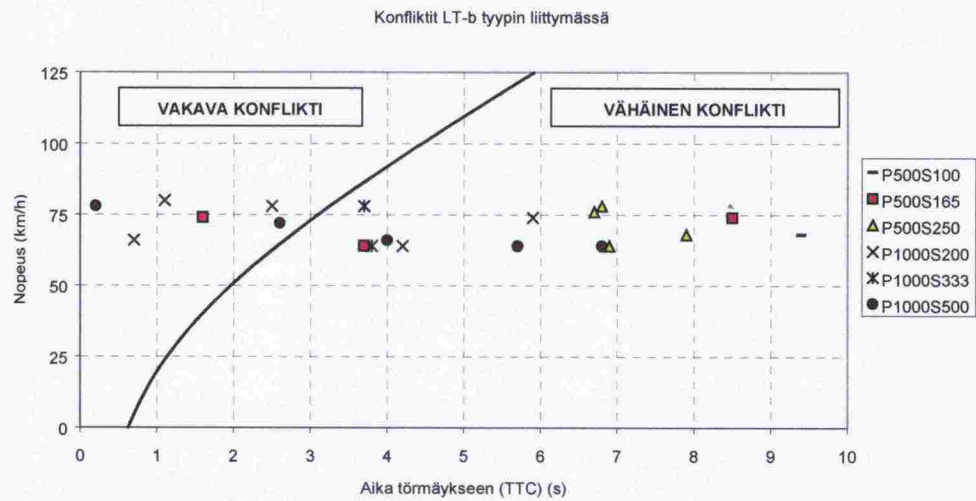
Kuva 52. Konfliktien luokittelu suuntaisliittymässä, jossa on pitkä kiihdytyskaista.



Kuva 53. Konfliktien luokittelu lyhytkiihdytyskaistaisessa suuntaisliittymässä.



Kuva 54. Konfliktien luokittelu pitkäkiihdytyskaistaisessa suuntaisliittymässä.



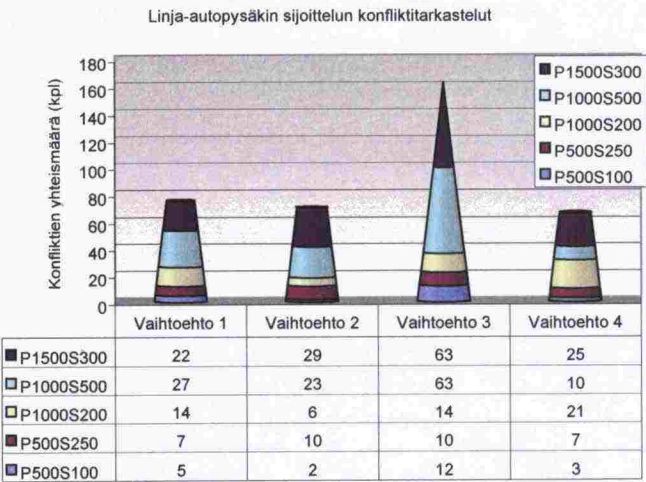
Kuva 55. Konfliktien luokittelu tulppaliittymässä.

Taulukko 26. Konfliktien lukumäärät eri simulointiajoissa (P=pääsuunta, S=sivusuunta, lukuarvo ko. suunnan liikennemäärä (ajon/h)).

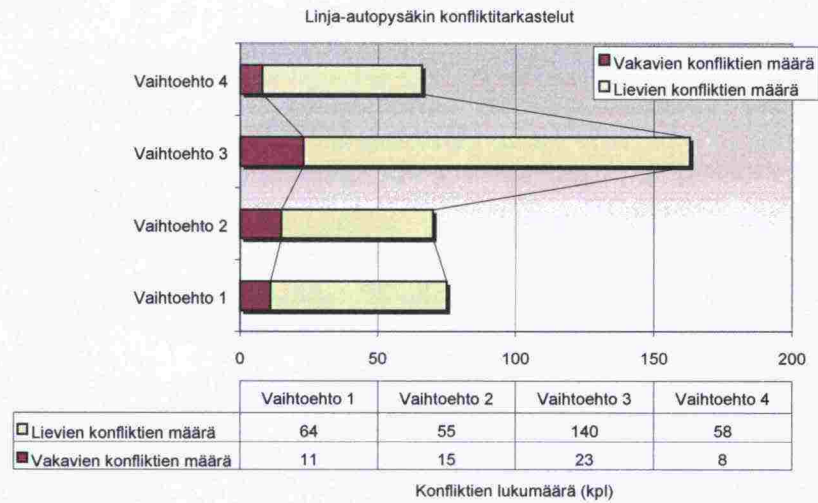
Liittymä- tyyppi	Konfliktimäärä eri simulointiajoissa (vakava/vähäinen)								Yhteensä
	P500 S100	P500 S165	P500 S333	P1000 S200	P1000 S333	P1000 S500	P1500 S300	P1500 S500	
Pitkä kiih- dytyskaista	0/0	0/2	2/0	3/1	3/11	2/12	2/20	2/17	14/63
Lyhyt kiih- dytyskaista	1/1	0/4	0/2	1/4	3/10	5/16	8/12	-	18/49
Ei kiihdy- tyskaistaa	0/0	0/4	0/2	0/7	0/13	-	-	-	0/26
Tulppaliit- tymä	0/1	1/2	0/4	3/2	0/2	2/3	-	-	6/14

4.5.5 Linja-autopysäkin sijainnin vaikutus liittymän turvallisuus-
teen

Linja-autopysäkin sijaintitarkasteluissa vaihtoehto 3 (pysäkki erkanemis-
kaistan alussa ilman taskua) osoittautui selkeästi muita enemmän ajoneuvo-
konflikteja aiheuttavaksi (kuva 56). Sen konfliktimäärät olivat yli kaksi kertaa
muita tarkasteluja sijaintivaihtoehtoja suurempia muiden ollessa keskenään
varsin tasavertaisia. Kyseisellä vaihtoehdolla tapahtui myös absoluuttisesti
eniten vakavia konflikteja (hidastuvuus yli 3,5 m/s²), mutta suhteellisesti
eniten niitä esiintyi vaihtoehdolla 2 (pysäkki kiihdytyskaistan keskivaiheilla
taskussa) (kuva 57). Turvallisuuden kannalta parhaana pysäkin sijoitusvaihtoehtona voidaan pitää vaihtoehtoa 4, eli sijoittamista taskuun erkanemis-
kaistan alkuun.



Kuva 56. Linja-autopysäkin sijainnin vaikutus konfliktimääriin.



Kuva 57. Konfliktien luokittelu linja-autopysäkitarkasteluissa.

4.5.6 Yhteenveto simuloinneista

Simuloinnit osoittivat kiihdytyskaistallisten suuntaisliittymien pystyvän välittämään merkittävästi suurempia liikennemääriä kuin kiihdytyskaistattomat liittymät ja mahdollistamaan siten ajoneuvojen joustavan kulun lähes ilman pysähdyksiä vilkasliikenteisissäkin olosuhteissa. Kiihdytyskaistan pituudella on myös vaikutusta välityskykyyn. Parhaimman sujuvuuden liikenteelle tarjosikin pitkäkiihdytyskaistainen suuntaisliittymä. Simulointimallissa tehokas kaistapituus oli 170 metriä, kun kiihdytyskaistan ja kiilan pituus oli yhteensä 205 metriä.

Pitkäkiihdytyskaistaisen liittymän sivusuunnan välityskyky osoittautui olevan 300–500 ajon/h, kun päätien liikennemäärä on 1 500 ajon/h. Lyhytkiihdytyskaistaisen liittymän välityskyky on alhaisempi: liittymä pystyy välittämään sivusuunnalta 500 ajon/h, kun päätien liikennemäärä on selvästi alle 1 500 ajon/h, mutta kuitenkin yli 1 000 ajon/h.

Kiihdytyskaistattoman suuntaisliittymän ja tulppaliittymän välityskyky osoittautui alhaisemmaksi kuin kiihdytyskaistallisten liittymien välityskyky: 200–330 ajon/h sivusuunnalta, kun päätien liikennemäärä on 1 000 ajon/h. Kiihdytyskaistallisessa liittymässä sivusuunnalta pystyi vastaavassa tilanteessa liittymään vähintään 500 ajon/h ilman suuria viivytyksiä.

Simuloinneista saatu pitkäkiihdytyskaistaisen liittymän välityskykyarvo vastaa hyvin ruotsalaisen laskentamenetelmän mukaista välityskykyä. Kiihdytyskaistallisen liittymän rampin välityskyky on ruotsalaisen laskentamenetelmän mukaan noin 370 hay/h, kun päätien liikennemäärä on 1 500 hay/h (Statens vägverk 1977). Laskentamenetelmä olettaa, että kiihdytyskaistan pituus on riittävä. HCM 2000 antaa vastaavassa tilanteessa hieman pienemmän välityskyvyn sivusuunnalle, 200 hay/h. Arvo perustuu väyläkapasiteetin arvoon ihanteellisissa olosuhteissa (1 700 hay/h), sillä HCM 2000:ssa

ei ole esitetty varsinaista menetelmää kaksikaistaisten teiden eritasoliittymien välityskyvyn laskemiseksi.

Simuloinneissa saatu kiihdytyskaistattoman liittymän välityskykyarvo on hieman pienempi kuin HCM 2000:n mukaan laskettu arvo (Sainion tutkimuksen aikaväliarvoilla). Kun päätien liikennemäärä on 1 000 ajon/h, on HCM 2000:n mukaan laskettu sivusuunnan välityskyky noin 420 ajon/h. Ruotsalainen laskentamenetelmä antaa sivusuunnan välityskyvyksi vastaavassa tilanteessa noin 240 ajon/h, joka on samaa suuruusluokkaa kuin simuloinneissa.

Simulointien ja kirjallisuudesta saatujen välityskyvyn laskentamenetelmien vertailussa tulee ottaa huomioon, että simulointeja ei tehty kovin monella sivusuunnan liikennemäärällä. Esimerkiksi kiihdytyskaistattomien liittymien tapauksessa liittymä ruuhkautui, kun päätien liikennemäärä oli 1 000 ajon/h ja sivusuunnan liikennemäärä 500 ajon/h, mutta välityskyky oli riittävä, kun sivusuunnan liikennemäärä oli 330 ajon/h. Sivusuunnan välityskyvyn raja saattaa siten olla hieman suurempikin kuin 330 ajon/h. Simuloinneilla ei myöskään selvitetty sivusuunnan välityskykyarvoja kaikilla tutkituilla päätien liikennemäärillä.

Kiihdytyskaistattomien liittymien turvallisuus todettiin simuloinneissa kiihdytyskaistaliittymiä paremmaksi, konfliktimäärät olivat kiihdytyskaistallisten liittymien simuloinneissa suuremmat. Kiihdytyskaistan pituuden lyhentäminen heikensi turvallisuutta. Vähiten konflikteja tapahtui tulppaliittymässä, mutta ilman kiihdytyskaistaa toteutetun suuntaisliittymän konfliktimäärät eivät olleet oleellisesti suuremmat ja konfliktit olivat lievempiä. Konfliktitarkastelussa täytyy ottaa huomioon, että tulppaliittymän simuloinneissa ei ollut mukana rampilta vasemmalle kääntyvää liikennettä. Lisäksi vaaratilanteita, joissa kuljettaja ajaa suuntaisliittymään liian suurella nopeudella ja suistuu vastaantulevien kaistalle, ei simuloinneissa voitu huomioida. Tämän vuoksi tulppaliittymää ja kiihdytyskaistatonta suuntaisliittymän ei pelkästään näiden konfliktitarkastelujen perusteella voi laittaa paremmuusjärjestykseen.

Simulointitulosten mukaan kiihdytyskaistallisia liittymiä kannattaa käyttää sellaisissa liittymissä, joiden liikennemäärät ovat suuria. Tällöin niiden joustavuus ja geometrian sujuvuus pääsee parhaiten oikeuksiinsa. Kiihdytyskaista tulee rakentaa aina riittävän pitkänä, sen lyhentäminen johtaa vain konfliktimäärän kasvuun ja kapasiteetin heikkenemiseen. Vähäliikenteisissä liittymissä kiihdytyskaistaton suuntaisliittymä tai tulppaliittymä tarjoavat riittävän sujuvuuden.

Kevytliikenteen risteäminen lisää liittyvän suunnan ajoneuvojen viivytyksiä noin 30–50 % (3–10 s/ajon). Simuloiduilla kevyen liikenteen määrillä (50–200 jk/h) ei näyttänyt olevan huomattavaa vaikutusta viivytyksiin.

Linja-autopysäkin turvallisuuden kannalta parhaaksi suunnitteluvaihtoehtoksi osoittautui pysäkin sijoittaminen omaan taskuun erkanemiskaistan kohdalle, jos pysäkki sijoitetaan liittymistoimintojen alueelle. Selvästi heikoimmaksi vaihtoehtoksi taas paljastui sijainti vastaavassa paikassa ilman tasua.

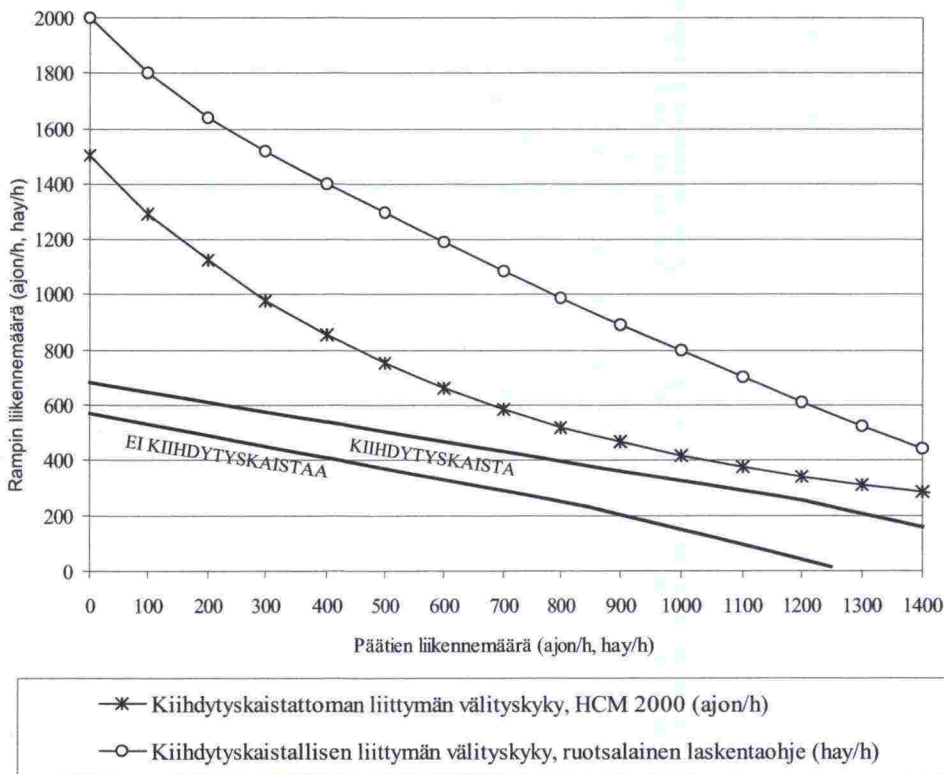
HUTSIM simulointivälineenä tarjosi hyvän työkalun erityisesti sujuvuustarkasteluihin. Sen soveltuvuus turvallisuustutkimukseen on kuitenkin vielä epävarmaa, eikä tutkimuksesta saatuja konfliktimääriä ja niiden vakavuusastejakaumaa voida suoraan vertailla tien päällä tapahtuviin todellisiin tilanteisiin. Kuitenkin tässä työssä esitetyt liittymätyyppien keskinäiset vertailut antavat suuntaa niiden eroavaisuuksista.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

5.1 Kiihdytyskaistan tarve perusverkon eritasoliittymässä

Kiihdytyskaista lisää välityskykyä perusverkon eritasoliittymässä kiihdytyskaistattomaan liittymään verrattuna sekä kirjallisuuden että simulointitulosten perusteella. Maastotutkimuksessa havaittiin, että ramppiajoneuvot hyväksyvät kiihdytyskaistallisessa liittymässä pienempiä päätien nettoaikavälejä kuin kiihdytyskaistattomassa liittymässä. Kuvassa 58 on esitetty kiihdytyskaistattoman liittymän välityskykykäyrä HCM 2000:n (Sainion (1984) tutkimuksen aikaväliarvoilla) mukaan ja kiihdytyskaistallisen liittymän välityskykykäyrä ruotsalaisen laskentamenetelmän mukaan.

Kuvaan 58 on piirretty Sainion tutkimuksessa esitetty suositus siitä, millä päätien ja rampin liikennemäärillä kiihdytyskaista tulisi rakentaa, kun päätie on kaksikaistainen moottoriliikennetie. Liittymään tulisi rakentaa kiihdytyskaista, kun liikennemäärät ovat kuvassa esitetyn kiihdytyskaistaa vastaavan käyrän ja kiihdytyskaistattoman käyrän välisellä alueella. Kun liikennemäärät ovat kiihdytyskaistaa vastaavan käyrän yläpuolella, suositellaan liittymä rakennettavaksi samalla periaatteella kuin moottoritien eritasoliittymä ja päätien poikkileikkaus kuin moottoritiellä.



Kuva 58. Kiihdytyskaistallisen ja -kaistattoman liittymän välityskykykäyrät sekä Sainion tutkimuksen liikennemääräalueet, joilla kiihdytyskaistaton tai kiihdytyskaistallinen liittymä suositellaan rakennettavaksi.

Tämän tutkimuksen kiihdytyskaistattomista maastomittauskohteista välityskyky ylittyi videokuvausten aikana yhdessä, kt 51 / kt 50 -Hankoon liittymässä. Muissa liittymissä kuormitusaste oli alle 0,50 ja liikennemäärät olivat Sainion määrittämällä kiihdytyskaistattoman liittymän liikennemääräalueella lukuunottamatta yhtä 5 minuutin jaksoa vt 8 / vt 12 -liittymässä. Kt 51 / kt 50 -liittymässä liikennemäärät olivat kuvausaikana niin suuret, että välityskyky olisi ylittynyt joinakin 5 minuutin jaksoina, vaikka liittymässä olisi ollut kiihdytyskaista.

Kiihdytyskaistallisissa tutkimuskohteissa liittymien välityskyky on videokuvausten perusteella riittävä. Kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä liikennemäärät tosin olivat muutaman 5 minuutin jakson aikana Sainion määrittämän kiihdytyskaistallisen liittymän liikennemääräalueen yläpuolella. Ilman kiihdytyskaistaakin olisi välityskyky ylittynyt ainoastaan tässä kt 50 / mt 1130 itään -liittymässä. Lisäksi kt 50 / Mynttiläntie itään -liittymässä liikennemäärät olisivat olleet joidenkin 5 minuutin jaksojen aikana Sainion määrittämän kiihdytyskaistattoman liittymän liikennemääräalueen yläpuolella.

Kiihdytyskaistan rakentamien vähentää rampilta tulevien ajoneuvojen viivytystä liittymässä. Simulointitutkimuksen perusteella keskimääräinen viivytys on kiihdytyskaistallisessa liittymässä 7–9 sekuntia alhaisempi kuin kiihdytyskaistattomassa liittymässä päätien liikennemäärän ollessa 500 ajon/h ja rampin liikennemäärän 100–250 ajon/h. Päätien liikennemäärän ollessa 1 000 ajon/h ja rampin 200–330 ajon/h, keskimääräinen viivytys on kiihdytyskaistallisessa liittymässä 14–106 sekuntia pienempi kuin kiihdytyskaistattomassa liittymässä.

Tämän tutkimuksen kiihdytyskaistallisissa liittymissä ramppiajoneuvojen keskimääräinen viivytys olisi ollut laskelmien perusteella (HCM 2000) 3–13 s/ajon, jos liittymissä ei olisi ollut kiihdytyskaistaa (kuormitusaste korkeintaan 0,9). Kiihdytyskaistattomissa kohteissa viivytys oli laskelmien perusteella 3–14 s/ajon (HCM 2000). Todellisuudessa viivytykset eivät muodostuneet kiihdytyskaistattomissa kohteissa näin suuriksi, keskimääräinen viivytys oli videokuvausten perusteella 3–8 s/ajon, kun kuormitusaste oli korkeintaan 0,9. Ero johtuu siitä, että ruuhkaisimmassa kohteessa (kt 51 / kt 50 Hankoon) liittymän toiminta muuttui "vetoketjumaiseksi" päätien nopeustason laskettua alhaiseksi. Kuormitusasteen ollessa yli 0,9 oli keskimääräinen viivytys videokuvausten perusteella noin 16 s/ajon, mutta tähänkin arvoon vaikuttaa ruuhkaisen liittymän toiminnan muuttuminen "vetoketjumaiseksi":

Kiihdytyskaistan rakentaminen vähentää aika-, ajoneuvo-, päästö- ja onnettomuuskustannuksia liittymässä. Karkeiden, pelkästään arkivuorokauden huipputuntiliikenteeseen perustuvien laskelmien perusteella kiihdytyskaistan rakentaminen on kannattavaa päätien alle 1 000 ajon/h liikennemäärällä jo hieman Sainion liikenteellisin perustein suosittelemaa ramppiliikennettä pienemmilläkin liikennemäärillä. Käytännössä kiihdytyskaista tuottaa säästöjä muulloinkin kuin arkivuorokausien huipputuntien aikana. Tästä johtuen kiihdytyskaistan rakentamista kannattaa harkita Sainion kuvassa 58 suosittelemia pienemmilläkin liikennemäärillä, kun sivusuunnan jonoutumista ja päätien liikenteelle aiheutuvia häiriöitä halutaan rajoittaa.

Kiihdytyskaistan rakentamispäätökseen vaikuttavat luonnollisesti myös muut kuin välityskykyyn liittyvät tekijät. Kiihdytyskaistan rakentaminen voi olla perusteltua vähäliikenteisissäkin kohteissa esimerkiksi maaston muotojen tai liittyvän ajoneuvoliikenteen koostumuksen vuoksi.

Pohjoismaisissa suunnitteluohjeissa rampin ja päätien liittymätyypin valintaan vaikuttavat mm. päätien luokka sekä liikennemäärät. Norjalaisen suunnitteluohjeen mukaan perusverkon eritasoliittymät varustetaan tavallisesti kiihdytyskaistalla. Ruotsalaisessa ohjeessa kiihdytyskaistan rakentaminen on riippuvainen päätien luokasta, mutta kiihdytyskaista voidaan rakentaa kaikkiin kohteisiin kevyenliikenteen olosuhteiden niin salliessa. Tanskassa suunnitteluohjeita ollaan juuri uudistamassa. Nykyisten ohjeiden mukaan kiihdytyskaista voidaan rakentaa, jos sivusuunnasta oikealle kääntyvä liikennemäärä on suuri ja sille halutaan hyvä sujuvuus.

5.2 Kiihdytyskaistan pituus

Simulointitulosten perusteella liittymän välityskyky on suurempi liittymässä, jossa kiihdytyskaistan pituus on 205 metriä (kiihdytyskaista+loppukiila), kuin liittymässä, jossa kiihdytyskaistan pituus on vastaavasti noin 100 metriä. Maastomittauksissa havaittiin myös, että ramppiajoneuvot hyväksyvät hie-
man pienempiä päätien nettoaikavälejä, kun kiihdytyskaista on pitkä. Tanskalaisessa tutkimuksessa on havaittu, että pitkä kiihdytyskaista vähentää ramppiajoneuvon ja päätien ajoneuvon välistä nopeuseroa ja nopeuseron pienentyessä ramppiajoneuvot hyväksyvät pienempiä päätien aikavälejä. Pitkä kiihdytyskaista helpottaa siten päätielle liittymistä ja lisää liittymän välityskykyä. Pitkä kiihdytyskaista helpottaa erityisesti raskaiden ajoneuvojen liittymistä.

Simulointien perusteella liittymäalueella tapahtuvien konfliktien määrä on lyhytkiihdytyskaistaisessa liittymässä suurempi kuin pitkäkiihdytyskaistaisessa liittymässä. Maastomittauksissa havaittiin, että liittymissä, joissa kiihdytyskaista on lyhyt (<180 m), ramppiajoneuvot ajavat kiihdytyskaistalla suhteellisesti pidemmälle ennen liittymistään päätielle kuin liittymissä, joissa kiihdytyskaista on pitkä (>200 m). Lyhytkiihdytyskaistallisissa liittymissä joka kolmas ajoneuvo liittyi päätielle kiihdytyskaistan kahdenkymmenen viimeisen metrin aikana. Nämä seikat viittaavat siihen, että riittävän liittymisnopeuden saavuttamiseksi lyhyt kiihdytyskaista täytyy ajaa lähes loppuun asti, jolloin sopivan aikavälin etsimiseen jää vähemmän pelivaraa, tai sitten liittyminen tapahtuu alhaisella nopeudella aiheuttaen häiriötä päätien liikenteelle.

Edellä esitettyyn perustuen voidaan todeta, että mikäli kiihdytyskaista rakennetaan, se tulee tehdä riittävän pitkänä. Kaistapituudesta tinkiminen alentaa välityskykyä ja lisää ramppiajoneuvojen ja päätien ajoneuvojen välisiä konflikteja.

Tiehallinnon suunnitteluohjeiden mukaan kiihdytyskaistan ja loppukiilan yhteenlasketun pituuden täytyy olla vähintään 205 metriä, kun päätien nopeusrajoitus on 80 km/h. Ruotsalaisissa suunnitteluohjeissa vastaava pituus on 160 metriä, kun päätien nopeusrajoitus on 70 km/h ja 205 metriä, kun nope-

usrajoitus on 90 km/h. Tämän lisäksi on annettu ohjeita rampin "tarkkailuosuuden" pituudelle, joka tulee mitoittaa niin, että henkilöauton nopeus on kiihdytyskaistan alussa korkeintaan 20 km/h alhaisempi kuin päätien nopeusrajoitus. Norjalaisissa ohjeissa kiihdytyskaistan ja loppukiilan yhteenlasketun pituuden tulee olla 190 metriä, kun päätien nopeusrajoitus on 80 km/h.

Tämän tutkimuksen perusteella ei ole mahdollista arvioida sitä, kuinka pitkän kiihdytyskaistan rakentaminen antaa vielä lisähyötyä rampilta tuleville ajoneuvoille. Simuloinneissa pitkän kiihdytyskaistan pituus oli loppukiiloineen 205 metriä (nopeusrajoitus 80 km/h), maastomittauksissa pisimmät kiihdytyskaistat olivat 207–260 metriä. Liikennemäärät olivat useissa mittauskohteissa kuitenkin niin vähäiset, että pitkäkiihdytyskaistasten liittymien keskinäinen vertailu ei ole mittaustulosten perusteella mahdollista. Kaistapituuden lisäämisen vaikutuksia olisi mahdollista selvittää lisäsimuloinneilla.

5.3 Kevytliikenteen ylitys ja linja-autopysäkki liittymäalueella

Päätien suuntainen kevytliikenteen tasoylitys rampin kohdalla lisää rampilta saapuvien ajoneuvojen viivytyksiä simulointien perusteella noin 30–50 % (3–10 s/ajon), kun kevytliikenteen määrä on 50–200 jk/h. Ratkaisun turvallisuutta ei tämän tutkimuksessa yhteydessä selvitetty. Luonnollisesti turvallisin ratkaisu on järjestää kevytliikenne ja ajoneuvoliikenne eri tasoon.

Linja-autopysäkin turvallisimmaksi sijoitusvaihtoehdoksi osoittautui pysäkin sijoittaminen erkanemiskaistan kohdalle erillisenä pysäkkilevennyksenä, jos pysäkki sijoitetaan liittymistoimintojen alueelle. Huonoin tutkituista vaihtoehdoista oli pysäkin sijoittaminen samaan paikkaan erkanemiskaistalle ilman levennystä.

6 KIRJALLISUUSLUETTELO

Hartikainen O. ja Kuronen H. (1999). Tien- ja kadunsuunnittelu. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, tielaboratorio. Tietekniikan opetusmoniste. TKK-R-A49. Espoo 1999. 290 s.

HCM 2000. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. 2000. Chapter 17. 103 p.+ appendixes.

Kosonen I. (1999). HUTSIM – Urban Traffic Simulation and Control Model - Principles and Applications. Teknillinen Korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, liikennelaboratorio. Espoo 1999. 213 s.

Kosonen I., Ree S. The Potential of Microscopic Simulation in Traffic Safety and Conflict Studies. Road Safety on Three Continents, Session 15, Modeling of Road Safety, Pretoria, South Africa, 20-22 September 2000. VTI, CSIR, Technikon Pretoria, TRB & BAST 2000. 9 pp.

Kosonen T. (2001). Yksiajorataisen tien kiihdytyskaistaliittymien simulointitutkimus. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu, liikennelaboratorio. 40 s.

Lund (1992). Den svenska konflikttekniken. Institutionen för trafikteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Broschyr. Lund 1992. 11 s.

Nielsen M., Rysgaard R. (1995). Merging contra Give Way when entering a motorway. Road Directorate, Danish Ministry of Transport. Report no. 27 1995. 103 p.

Nokela I., Lyly S. ja Aho E. (1980). Liikennetekniikan sanasto. Helsingin teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka. Julkaisu 45. Otaniemi 1980. 298 s.

Sainio H. (1984). Liittymisrampin toiminta moottoriliikennetiellä. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööriosasto. Diplomityö. 128 s.

Siimes H. (1999). Korkealuokkaisten väylien liikenteen mikrosimuloinnin kehittäminen. Liittymätoimintojen tutkiminen. Tielaitoksen selvityksiä 14/1999. 46 s.+liitteet.

Sane K. ja Kosonen I. (1996). HUTSIM 4.2 Reference Manual. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto, liikennelaboratorio. Julkaisu 90. ISBN 951-22-3350-9. Espoo 1996. 99 s.

Statens vägverk (1977). Beräkning av kapacitet, kölängd, fördröjning i vägtrafikanläggningar. TV 131. 309 s. + bilagor.

Statens vegvesen (1983). <http://www.vegvesen.no/vegnormaler/hb/017/index.htm>. 19.12.2001.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (1988). RIL 165-2 Liikenne ja väylät II. B12 Liittymien suunnittelu. s. 120–174.

Svensson, Å. (1998). A method for analysing the traffic process in a safety perspective. Lund University of Technology. Department of Traffic Planning and Engineering. Bulletin 166. Lund 1998. 145 s.

Tiehallinto (2001a). Tasoliittymät – suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. TIEH 2100001-01. ISBN 951-726-731-2. Helsinki 2001. 95 s.

Tiehallinto (2001b). Tieliikenteen ajokustannukset 2000. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. TIEH 2123614-01. ISBN 951-726-781-9. Helsinki 2001. 48 s.

Tielaitos (1992). Autojen nopeudet pääteillä vuonna 1991. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 31/1992. Tiehallitus, Tutkimuskeskus. Helsinki 1992. 48 s.

Tielaitos (1999). Perusverkon eritasoliittymien turvallisuus. S 12 Pääteiden parantamisratkaisut. Tielaitoksen selvityksiä 21/1999. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. TIEL 3200566. ISBN 951-726-540-9. Helsinki 2000. 40 s.+liitteet.

Tielaitos (2000). Tietoa tiensuunnitteluun. S 12 Pääteiden parantamisratkaisut. Perusverkon eritasoliittymien turvallisuus. Nro 47, 9.3.2000. 4 s.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Simsoft Oy (2002). TARVA 4.3-ohjelmisto. Turvallisuusvaikutusten arviointi vaikutuskertoimilla. Sähköinen käyttöohje, liite 4. Rekisteröintianomus ohjelman käyttöön osoitteesta <http://www.tarva.net> 15.7.2002.

Vejdirektoratet (1983). http://www.vejregler.dk/pls/vrdad//vr_frame.f_index. 19.12.2001.

Vägverket (1994). http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/ATB/vagutformning/vu94/index.htm. Del 7–8. 18.2.2002.

7 LIITTEET

- Liite 1: Tiehallinnon ohjeen mukainen suuntaisliittymän mitoitus
- Liite 2: Maastomittauskohteiden sijainti
- Liite 3: Maastomittauskohteet
- Liite 4: Kuvien 4 – 6 regressiokäyrien yhtälöt
- Liite 5: HCM 2000:n ja ruotsalaisen ohjeen mukaisten maksimijononpituuksien poikkeaminen videokuvauksissa todetuista maksimijonopituuksista rampin eri kuormitusasteilla kiihdytyskaistattomissa liittymissä
- Liite 6: Kuvien 7 ja 8 viivytysregressiosuorien yhtälöt
- Liite 7: Kuvan 10 viivytysregressiokäyrien yhtälöt
- Liite 8: Ramppiajoneuvon päätielle liittymiskohta etäisyytenä rampin nokkapisteestä

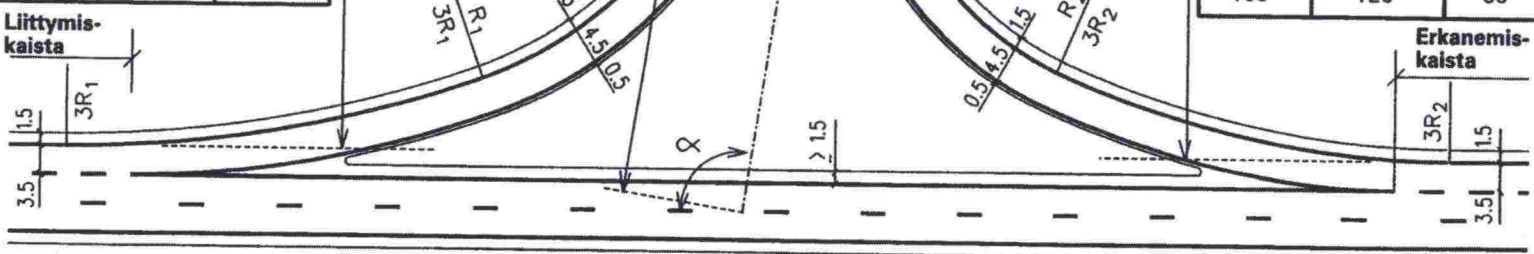
Tiehallinnon ohjeen mukainen mitoitus

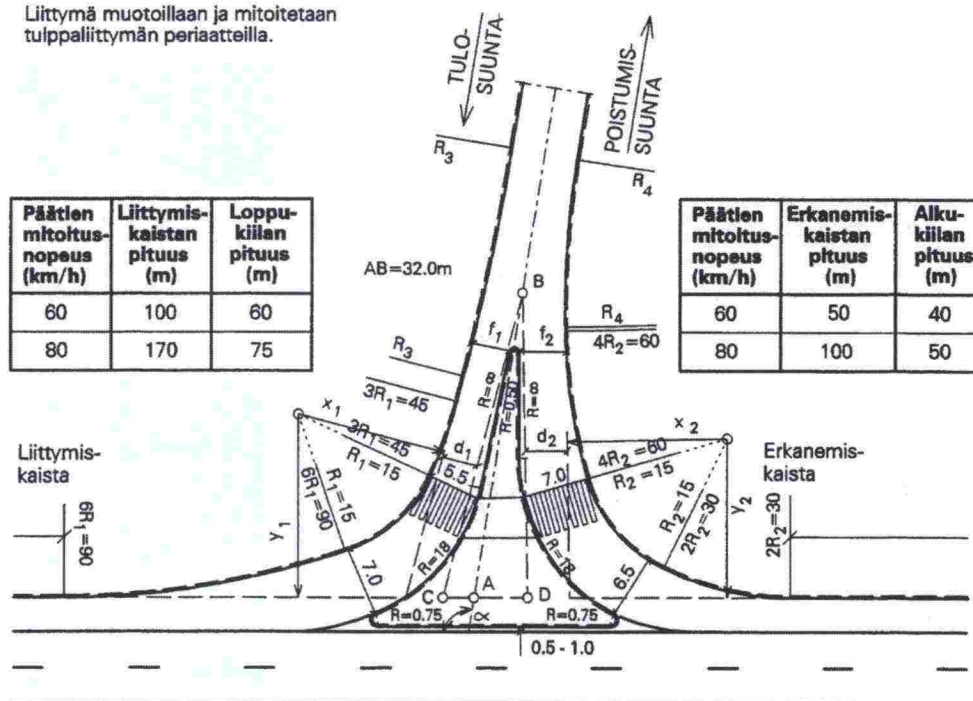
SUUNTAISLIITYMÄ Normaali mitoitus

Q	TULOSUUNTA			POISTUMISSUUNTA		
	R ₁	x ₁	y ₁	R ₂	x ₂	y ₂
90	40	R ₁ +1.0	R ₁ +7.0	50	R ₂ +3.0	R ₂ +5.0
95	40	R ₁ +1.5	R ₁ +7.0	45	R ₂ +2.5	R ₂ +5.5
100	40	R ₁ +2.0	R ₁ +7.0	40	R ₂ +2.0	R ₂ +6.0
105	45	R ₁ +2.5	R ₁ +6.5	40	R ₂ +1.5	R ₂ +6.5
110	50	R ₁ +3.0	R ₁ +6.0	40	R ₂ +1.0	R ₂ +7.0

Päätien mitoitus- nopeus (km/h)	Liittymis- kaistan pituus (m)	Loppu- kiilan pituus (m)
60	80	60
80	130	75
100	200	75

Päätien mitoitus- nopeus (km/h)	Erkanemis- kaistan pituus (m)	Alku- kiilan pituus (m)
60	30	40
80	70	50
100	120	50





Maastomittauskohteiden sijainti

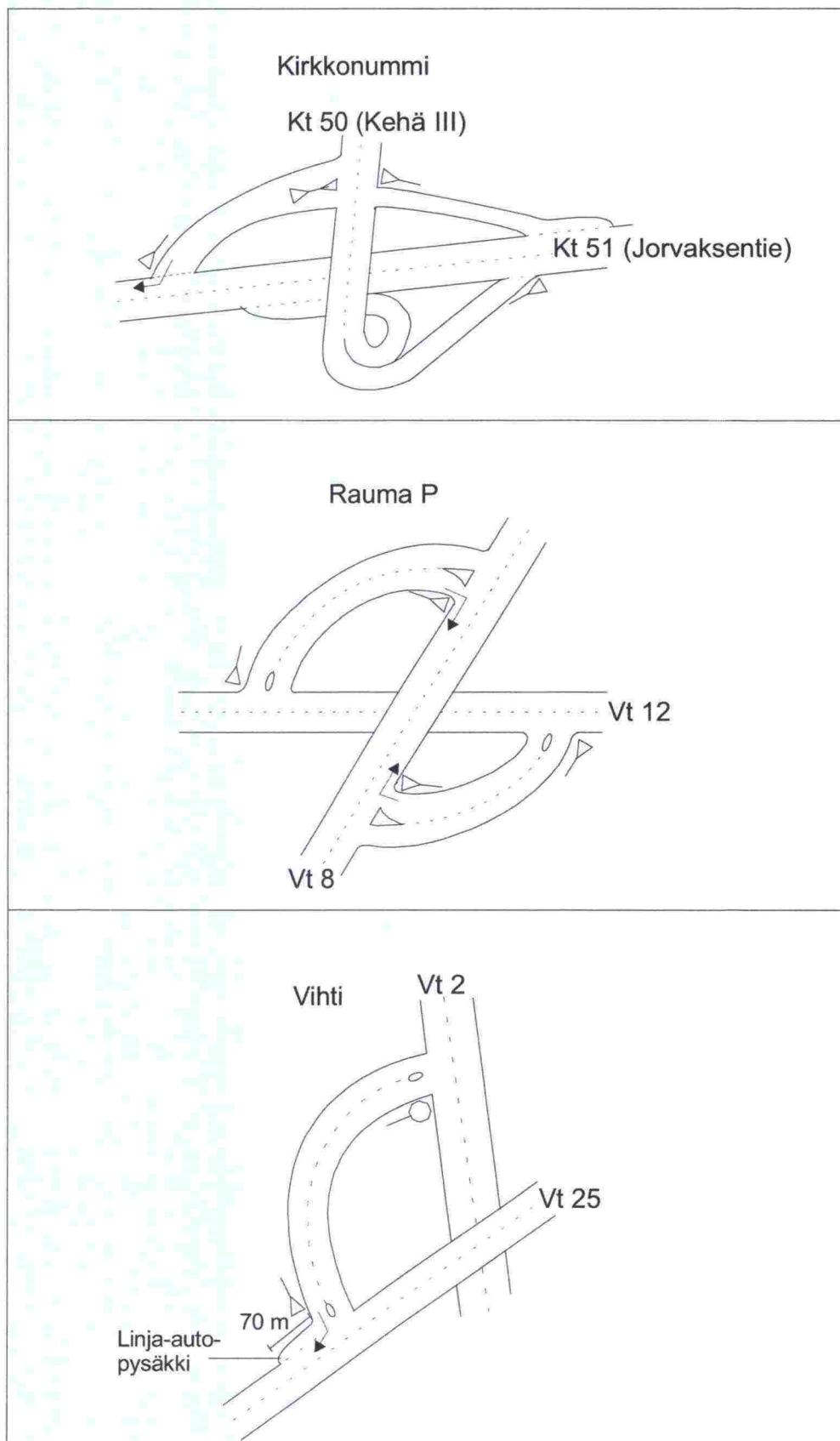


- ① Vt 8 / vt 12 (Rauma P)
- ② Vt 8 / mt 2052 (Rauma E)

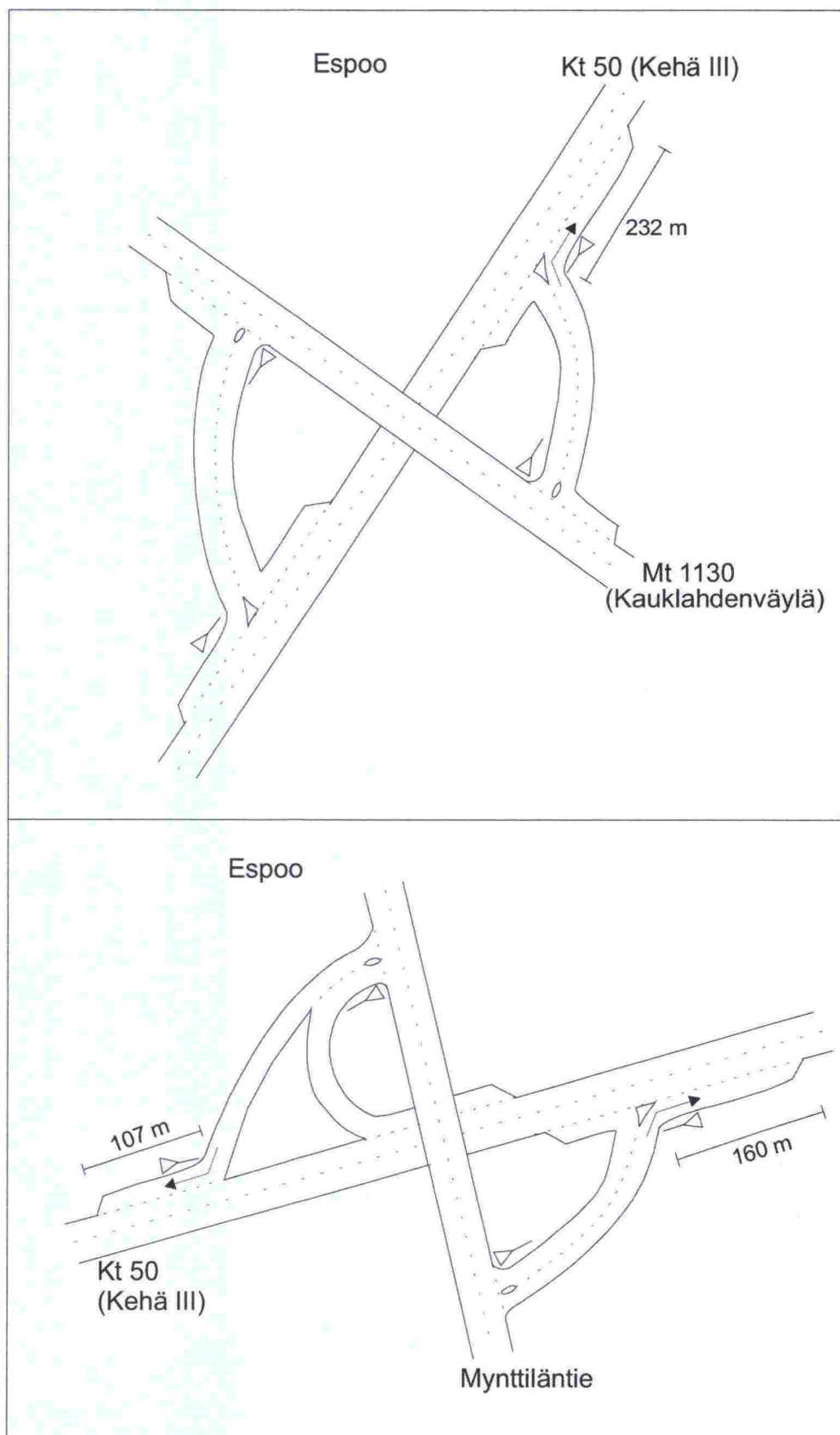


- ③ Vt 2 / mt 133
- ④ Vt 2 / vt 25
- ⑤ Kt 50 (Kehä III) / Mynttiläntie
- ⑥ Kt 50 (Kehä III) / mt 1130 (Kauklahdenväylä)
- ⑦ Kt 51 (Jorvaksentie) / kt 50 (Kehä III)

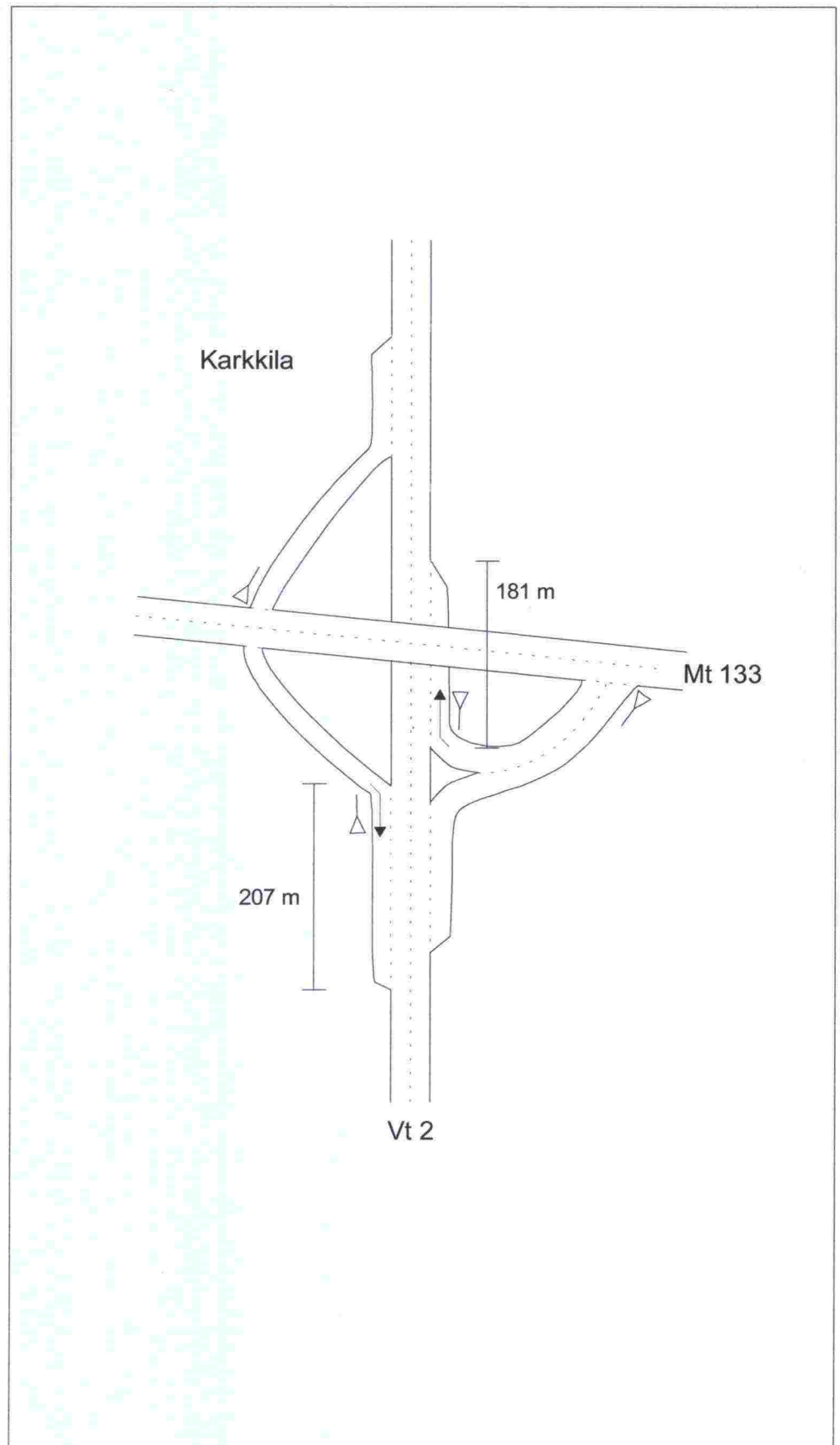
Maastomittauskohteet (ei kiihdytyskaistaa)



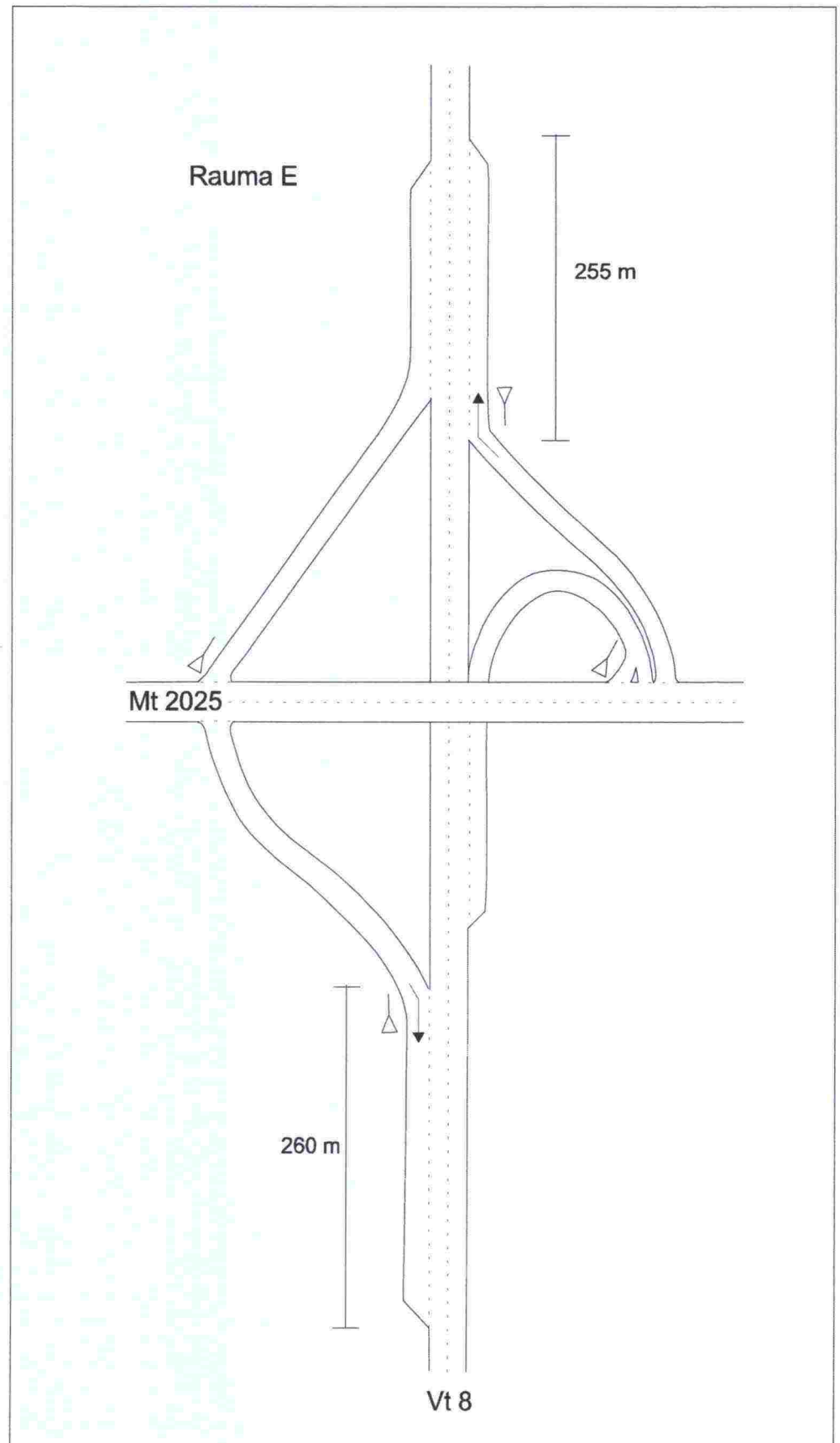
Maastomittauskohteet (on kiihdytyskaista)



Maastomittauskohteet (on kiihdytyskaista)



Maastomittauskohteet (on kiihdytyskaista)



Jononpituuden ja rampilla jonottamisesta aiheutuvan viivytyksen riippuvaisuus kuormitusasteesta kiihdytyskaistattomissa liittymissä

Regressioanalyysien yhtälöt

KUVASSA 4:

Rampin keskimääräisen jononpituuden (J_{ka} , ajon) riippuvaisuus kuormitusasteesta (B) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, $N=181$):

$$J_{ka} = 1,12013 * B^2 + 0,99703 * B \quad R^2=75,11.$$

KUVASSA 5:

Rampin maksimijononpituuden (J_{max} , ajon) riippuvaisuus kuormitusasteesta (B) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, $N=205$):

$$J_{max} = 8,69704 * B \quad R^2=85,08.$$

Rampin maksimijononpituuden (J_{max} , ajon) riippuvaisuus kuormitusasteesta (B) kiihdytyskaistattomissa liittymissä ruotsalaisen laskentaohjeen mukaan laskettuna (5 min. aikajaksot, $N=181$):

$$J_{max} = 7,79929 * B \quad R^2=83,03.$$

Rampin maksimijononpituuden (J_{max} , ajon) riippuvaisuus kuormitusasteesta (B) kiihdytyskaistattomissa liittymissä HCM 2000:n mukaan laskettuna (5 min. aikajaksot, $N=205$):

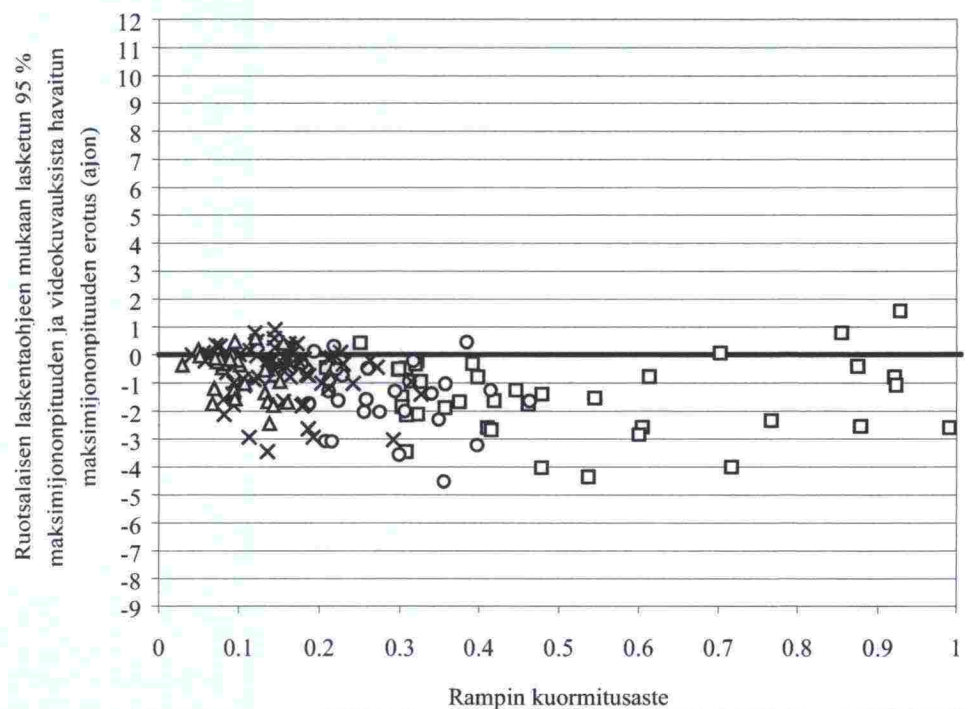
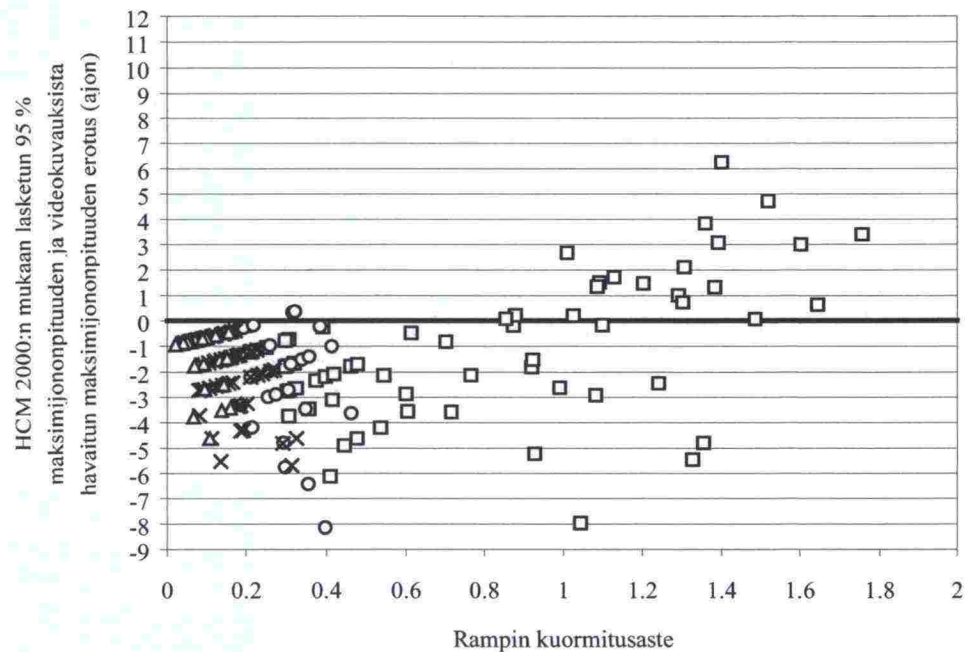
$$J_{max} = 3,73403 * B^2 + 3,30025 * B \quad R^2=99,23.$$

KUVASSA 6:

Rampilla jonottamisesta aiheutuvan keskimääräisen viivytyksen (d_j , s) riippuvaisuus kuormitusasteesta (B) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, $N=205$):

$$d_j = 2,44005 * B^2 + 9,50352 * B \quad R^2=74,42.$$

HCM 2000:n sekä ruotsalaisen laskentaohjeen mukaan lasketun ja videokuvauksista määritetyn maksimijononpituuden erotukset 5 minuutin aikajaksoissa kiihdytyskaistattomissa liittymissä



Liittymisaikavälin odottamisesta aiheutuvan viivytyksen riippuvaisuus päätien liikennemäärästä kiihdytyskaistattomissa liittymissä

Regressioanalyysien yhtälöt

KUVASSA 7:

Liittymiseen sopivan aikavälin odottamisesta aiheutuvan keskimääräisen viivytyksen (d_i , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, N=205):

$$d_i = 0,00219 * Q_p + 1,98968 \quad R^2=15,03.$$

KUVASSA 8:

Liittymiseen sopivan aikavälin odottamisesta aiheutuvan keskimääräisen viivytyksen (d_i , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomassa vt 25 / vt 2 Hankoon -liittymässä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, N=71):

$$d_i = 0,01558 * Q_p \quad R^2=82,32.$$

Liittymiseen sopivan aikavälin odottamisesta aiheutuvan keskimääräisen viivytyksen (d_i , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomassa vt 8 / vt 12 Poriin -liittymässä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, N=35):

$$d_i = 0,00765 * Q_p \quad R^2=84,62.$$

Liittymiseen sopivan aikavälin odottamisesta aiheutuvan keskimääräisen viivytyksen (d_i , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomassa vt 8 / vt 12 Turkuun -liittymässä videokuvausten perusteella (5 min. aikajaksot, N=36):

$$d_i = 0,01313 * Q_p \quad R^2=55,71.$$

Ramppiajoneuvojen keskimääräisen viivytyksen riippuvaisuus päätien liikennemäärästä kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella

Regressiokäyrien yhtälöt

KUVASSA 10:

Ramppiajoneuvojen keskimääräisen viivytyksen (d , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella, kun rampin liikennemäärä on 50–250 ajon/h (5 min. aikajaksot, $N=118$):

$$d = e^{(0,63779+0,00240*Q_p)} \quad R^2=16,24.$$

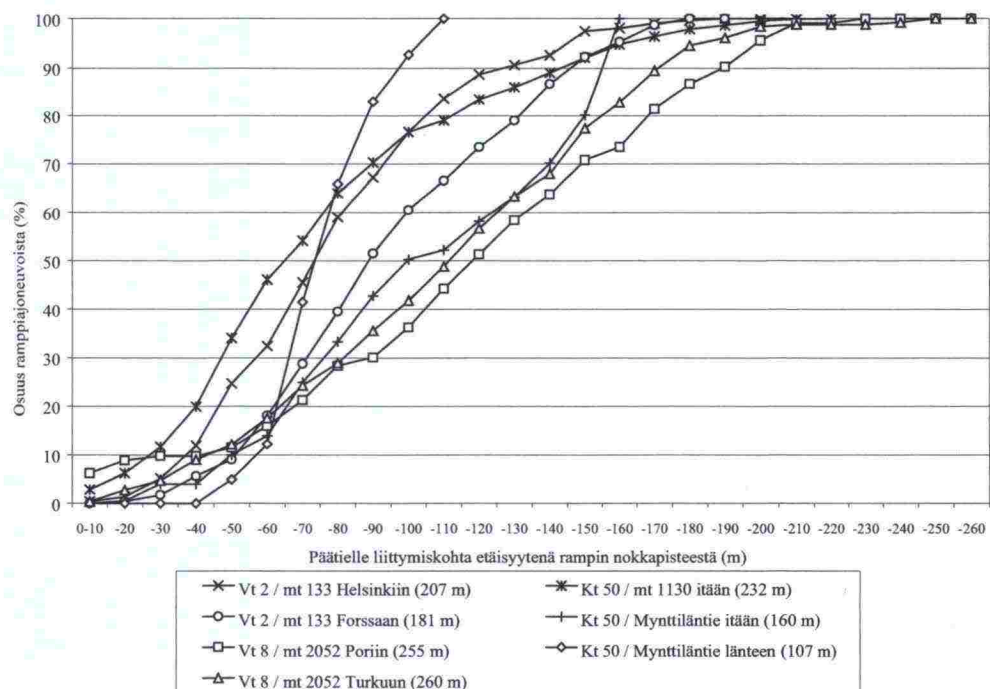
Ramppiajoneuvojen keskimääräisen viivytyksen (d , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella, kun rampin liikennemäärä on 250–450 ajon/h (5 min. aikajaksot, $N=61$):

$$d = e^{(0,66026+0,00195*Q_p)} \quad R^2=52,51.$$

Ramppiajoneuvojen keskimääräisen viivytyksen (d , s) riippuvaisuus päätien liikennemäärästä (Q_p , ajon/h) kiihdytyskaistattomissa liittymissä videokuvausten perusteella, kun rampin liikennemäärä on 450–650 ajon/h (5 min. aikajaksot, $N=20$):

$$d = e^{(1,04334+0,00182*Q_p)} \quad R^2=51,64.$$

Ramppiajoneuvojen päätielle liittymiskohta etäisyytenä rampin nokkapisteestä



ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-932-3
TIEH 3200778